



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
FACULTE DES SCIENCES



DOMAINE  
SCIENCES ET TECHNOLOGIES

ECOLE DOCTORALE  
SCIENCES DE LA VIE ET DE L'ENVIRONNEMENT

## THESE DE DOCTORAT

**Spécialité : Biodiversité et santé (Biochimie)**

**EVALUATION ET REINGENIERIE DES PROCEDES  
DE FABRICATION TRADITIONNELLE DU KITOZA**

Présentée par :

**Angela Irène RATSIMBA épouse RABARIARIVELO**

*Titulaire de DEA en Biochimie Appliquée aux Sciences Médicales*

Soutenue publiquement le 02 mars 2017

Devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	Professeur Abel Andriantsimahavandy
<b>Rapporteur interne :</b>	Professeur Danielle Aurore Doll Rakoto
<b>Rapporteur externe :</b>	Professeur Régine Talon
<b>Directeur de thèse :</b>	Professeur Victor Jeannoda
<b>Co-directeur :</b>	Docteur Elodie Arnaud
<b>Examineurs :</b>	Professeur Charlotte Ralison
	Professeur Raphaël Rakotozandrindrainy



# Remerciements

Cette thèse a été réalisée sous la direction du Professeur Victor JEANNODA, Directeur de l'Ecole Doctorale Sciences de la Vie et de l'Environnement, que je remercie pour ses conseils, son implication et soutien scientifique durant toutes ces années qui m'ont permis d'avancer dans mon travail.

J'adresse mes très sincères remerciements à Mesdames les Professeurs Danielle A. Doll RAKOTO, enseignant-chercheur en Biochimie Fondamentale et Appliquée et Responsable scientifique et technique du projet AFTER pour l'Université d'Antananarivo, et Régine TALON, chercheur à l'INRA de Clermont-Ferrand, pour leur aide précieuse, leur disponibilité et leurs conseils. Je les remercie aussi pour le temps consacré à la lecture et à la correction du manuscrit ainsi que d'avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse.

Je remercie également Madame le Docteur Elodie ARNAUD, chercheur à l'UMR Qualisud de Stellenbosch, qui s'est toujours investie dans l'étude du kitoza et m'a accueillie au sein de son laboratoire. Malgré ses lourdes responsabilités, elle a bien voulu m'encadrer depuis mon DEA jusqu'à aujourd'hui, que ce soit pour les manipulations ou la rédaction.

Je remercie Monsieur le Professeur Abel ANDRIANTSIMAHAVANDY, enseignant-chercheur en Biochimie Fondamentale et Appliquée (Faculté des Sciences), qui m'a fait l'honneur de présider mon jury de thèse, ainsi que Madame le Professeur Charlotte RALISON, enseignant-chercheur en Biochimie Fondamentale et Appliquée (Faculté des Sciences), et Monsieur le Professeur Raphaël RAKOTOZANDRINDRAINY, enseignant-chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques de l'Université d'Antananarivo d'avoir accepté d'examiner cette thèse.

Je tiens à remercier chaleureusement les producteurs de kitoza pour leur collaboration, leur confiance et leur amitié. Vous avez été pour beaucoup dans la réalisation de ce travail.

J'adresse également mes remerciements :

- au projet AFTER qui a financé ces travaux. Je remercie tous les responsables de m'avoir donné l'opportunité de participer à ce projet
- aux différents chercheurs qui m'ont encadrée et conseillée, notamment Dominique PALLET, Thierry GOLI, Michel RIVIER et Sabine LEROY

- l'équipe du Laboratoire de microbiologie de l'INRA de Clermont-Ferrand ainsi que l'équipe de la Halle des technologies du CIRAD de Montpellier pour leur accueil et leur gentillesse
- les amis et collègues au sein du Laboratoire de Biochimie Fondamentale et Appliquée ainsi que du laboratoire de l'UMR Qualisud de la Réunion pour leur bonne humeur et leur convivialité.

Je remercie Tahiana, Irène, Jaona, Vonimihaingo ainsi que l'équipe du LAS Ambatobe pour m'avoir aidée lors des analyses sensorielles.

Je remercie l'équipe du Centre National de Recherche sur l'Environnement conduite par Monsieur Rado RASOLOMAMPIANINA qui m'a aidée à finir les dernières analyses microbiologiques.

J'adresse ma profonde reconnaissance à Julien RICCI qui a été d'une aide immense pour les analyses effectuées à Montpellier et pour les échantillons envoyés de Madagascar.

Je ne saurais oublier tous les amis rencontrés hors de Madagascar : Marie, Fafah, MJ, Charlene, Hasina et Christelle, .... Merci pour votre amitié et pour les très bons moments passés en votre compagnie.

J'adresse mes remerciements à Mesdames Nadine Lopez, Régine Talon et sa famille ainsi que Catherine Doleux. Votre accueil chaleureux et votre gentillesse ont été un réconfort précieux pour moi.

Je remercie de tout cœur mes parents, pour leur amour ainsi que pour leur soutien moral et financier durant mes études. Je ne serai pas arrivée à ce stade sans vous et vos encouragements. Je tiens également à remercier mes frère et sœur, qui ont été mes « lave-vaisselle » en microbiologie et mes gardes du corps lors de mes manip tardives ; merci pour votre compréhension et votre aide.

Enfin, je souhaiterais remercier Ainasoa, ma source de joie et de motivation, et Rindra pour sa grande patience, son écoute, son aide précieuse et tout son amour. Vous avez été mes soutiens les plus précieux dans la réalisation de ce travail.

# Table des matières

Liste des abréviations.....	iv
Glossaire.....	vii
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures.....	xii
Liste des annexes.....	xiv
 INTRODUCTION GENERALE.....	 1
 CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
1.1 Données générales sur Madagascar.....	3
1.1.1 Climat.....	3
1.1.2 Population.....	3
1.1.3 Economie.....	4
1.1.4 Agriculture et élevage.....	4
1.1.5 Problèmes limitant la commercialisation de viande à Madagascar.....	7
1.2 La viande : procédés de transformation et produits.....	9
1.2.1 Procédés traditionnels de transformation de la viande dans le monde..	10
1.2.2 Exemples de différents produits carnés traditionnels.....	14
1.2.3 Effets des traitements technologiques sur la qualité de la viande.....	17
1.3 Les Techniques de préparation et de conservation de la viande à Madagascar..	22
1.3.1 Les transformations traditionnelles.....	23
1.3.2 Le kitoza.....	23
1.3.3 Evolution de l'industrie de la production de viande.....	24
1.4 Travaux antérieurs sur le kitoza.....	25

## CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

2.1	Matériels.....	30
2.2	Méthodes.....	33
2.2.1	Identification des opérations unitaires.....	33
2.2.2	Analyses physico-chimiques.....	34
2.2.3	Analyses microbiologiques.....	47
2.2.4	Réingénierie.....	51
2.2.5	Analyses sensorielles.....	52
2.2.6	Analyses statistiques.....	56

## CHAPITRE 3 : EVALUATION DES PROCEDES DE FABRICATION DU KITOZA

3.1	Choix des producteurs.....	57
3.2	Description et analyse du procédé par atelier.....	59
3.2.1	Producteur A.....	60
3.2.2	Producteur B.....	69
3.2.3	Producteur C.....	79
3.2.4	Résultats des entretiens avec le personnel du site.....	88
3.3	Identification des staphylocoques à coagulase négative dans les produits finis	92
3.4	Discussion.....	95
	Sur le choix des producteurs.....	95
	Sur les interviews.....	95
	Sur les coûts et dépenses.....	96
	Sur l'évaluation du procédé.....	96
	Sur les étapes critiques.....	104
	Sur les Staphylocoques à coagulase négative.....	104
3.5	Récapitulatif du procédé, conclusions et recommandations.....	106

## CHAPITRE 4 : REINGENIERIE DE LA FABRICATION DU KITOZA ET ANALYSES SENSORIELLES

4.1	Pistes d'amélioration.....	108
4.2	Réingénierie entreprise à Montpellier (Pilotage du fumage).....	109
4.2.1	Diagramme de transformation.....	109
4.2.2	Préparation et salage des lanières.....	110
4.2.3	Amélioration du fumage.....	110
4.2.4	Echantillonnage et analyses.....	112
4.3	Réingénierie locale.....	116
4.3.1	Analyses physico-chimiques des produits réingéniérés.....	119
4.3.2	Analyses microbiologiques des produits améliorés.....	120
4.4	Analyses sensorielles.....	122
4.4.1	Analyses descriptives.....	122
4.4.2	Analyses hédoniques.....	127
4.5	Discussion.....	128
	Sur la détermination des étapes critiques et actions correctives.....	128
	Sur le pilotage de fumage (Montpellier).....	128
	Sur la réingénierie locale (Madagascar).....	129
	Sur les analyses sensorielles.....	130
4.6	Conclusions et recommandations.....	132
	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	134
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	140

Articles et communications

Abstract

Résumé

# Liste des abréviations

ACP : analyse en composantes principales

ADN : acide désoxyribonucléique

Ar : Ariary (monnaie locale)

Aw : Activité de L'eau

B(a)P : benzo(a)pyrène

BAL : Bactérie lactique

BHI : Brain Heart Infusion

BHT : butylhydroxytoluène

bs : base sèche

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

COMESA : Common Market for the Eastern and Southern of Africa ou marché commun pour l'Afrique orientale et australe

DLC : date limite de consommation

DO : densité optique

FAMT : flore aérobie mésophile totale

FAO: Food and Agriculture Organization

FOFIFA : Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra ou Centre national de recherche appliquée en développement rural, CENRADERU

GF/C : filtre en microfibres de verre garde GF/C, filtre standard pour la détermination des matières en suspension dans l'eau

GB(a)P : gain en B(a)P

GLip : gain en lipides



GPh : gain en phénol

GProt : gain en protéines

GS : gain en sel

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

HPG : high pressure gradient

HPLC : High Performance Liquid Chromatography ou chromatographie en phase liquide à haute performance

IDH : Indicateur de Développement Humain

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

LAS : Laboratoire d'Analyses Sensorielles

LSD : Least Significant Difference ou différence significative minimale

MDA : malondialdéhyde

meq : milliéquivalent

MSA : milieu Mannitol Salt Agar

MRS: Gélose de Man, Rogosa, Sharpe

ND : non déterminé

PCA : Plate Count Agar

PCR : Réaction de polymérisation en chaîne

PE : perte en eau

PIB : Produit Intérieur Brut

PP : perte en poids

PTFE : polytétrafluoroéthylène

RAS : République d'Afrique du Sud

rpm : rotation per minute ou tour par minute

SADC : Southern African Development Community

SCN : Staphylocoque à Coagulase Négative

SM : solution mère

TBA : Acide Thiobarbiturique

TBARS : 2-thiobarbituric acid-reactive substances

TBX : Tryptone Bile X Glucuronide

TMP : 1,1,3,3-tétraméthoxypropane

UE : Union Européenne

ufc : unité formant colonie

UMR : unité mixte de recherche

VC : valeur cuisatrice

XLD : Xylose – Lysine – Désoxycholate

# Glossaire

**Acceptabilité** : Etat d'un produit reçu favorablement par un individu déterminé ou une population en fonction de ses propriétés organoleptiques, à un moment donné et dans un contexte déterminé.

**ACP** ou Analyse en Composantes Principales : Technique d'analyse statistique, principalement descriptive, qui consiste à rechercher les directions de l'espace qui représentent le mieux les corrélations entre  $n$  variables aléatoires. Elle permet ainsi de visualiser un espace à  $p$  dimensions à l'aide d'espaces de dimensions plus petites.

**Androlla** : saucisson fumé espagnol à base de porc

**ANOVA** : L'analyse de la variance recouvre un ensemble de techniques de tests et d'estimation destinées à quantifier l'effet de variables qualitatives sur une variable numérique. Dans le cas le plus simple, cela consiste à comparer plusieurs moyennes d'échantillons.

**Appertisation** : procédé de conservation des denrées alimentaires par stérilisation à la chaleur, dans des récipients hermétiquement clos.

**Arôme** : Propriété organoleptique perçue lorsque les molécules odorantes arrivent à l'épithélium par voie retro-nasale lors de la dégustation.

**Aw** : concept qui traduit le degré de fixation de l'eau.

**Biltong** : viande de bœuf ou de venaison salée et séchée d'Afrique du Sud

**Botillo** : saucisson fumé espagnol à base de porc

**Boucané** : morceau de porc ou de lard fumé de la Réunion (boucané = fumé)

**Cancérigène ou cancérrogène** : qui peut provoquer ou favoriser l'apparition d'un cancer

**Carne de sol** : viande de bœuf salée et boucanée du Brésil

**Cecina** : viande salée/séchée de bœuf du Mexique

**Charque ou charqui** : viande salée et séchée, habituellement de cheval, lama ou boeuf, commune en Amérique du Sud

**Chorizo** : saucisson à base de viande de porc et/ou de bœuf, salé séché et/ou fumé, fermenté de la région méditerranéenne

**Dengdeng giling** : viande salée et séchée d'Indonésie

**Digoxigénine** : marqueur utilisé lors d'hybridation d'acides nucléiques

**Epoxyde** : fonction constituée par le pontage par un atome d'oxygène de deux atomes de carbone adjacents

**Flaveur** : ensemble des sensations (odeur, goût, ...) ressenties lors de la dégustation d'un aliment

**Fuet** : saucisse sèche à base de porc salé et fermenté espagnole

**Génotoxique** : pouvant compromettre l'intégrité physique ou fonctionnelle du génome.

**Hédonique** : Qualifie une appréciation affective que portent des consommateurs sur un produit, en se rapprochant à son caractère plaisant ou déplaisant, par leurs organes des sens, dans un contexte déterminé et à un moment donné.

**Jerky** : viande de bœuf salée et séchée d'Amérique

**Kapoaka** : boîte de lait concentré de 390 g servant d'unité de mesure

**Kadid ou kaddid** : viande de bœuf ou de mouton salée, séchée et fermentée d'Afrique du nord

**Kilishi** : viande de boeuf salée, séchée et grillée de l'Afrique de l'Ouest

**Kitoza** [kituze] : viande salée séchée et/ou fumée de Madagascar

**Kundi** : viande séchée fumée du Nigéria

**Lacon** : saucisson fumé espagnol à base de porc

**Lyophilisation** : élimination de l'eau d'un produit par congélation rapide suivie d'une sublimation de la glace formée, jusqu'à complète dessiccation

**Mutagène** : susceptible de provoquer des mutations chez les êtres vivants

**Organoleptique** : Qualifie une propriété d'un produit perceptible par les organes de sens

**Panel** : Groupe de sujets volontaires et représentatifs de la population ciblée qui vont déguster et donner leurs avis sur un produit donné.

**Parage** : technique qui consiste à enlever les nerfs, la graisse, etc., de la viande, afin de la rendre propre à la consommation ou d'en améliorer la présentation

**Profil sensoriel** : Description à l'aide de descripteurs des propriétés sensorielles d'un échantillon dans leur ordre de perception avec attribution d'une valeur d'intensité pour chaque propriété.

**Pyrolyse** : décomposition chimique sous l'action de la chaleur, dans une atmosphère réduite en oxygène

**Salami** : gros saucisson sec à base de viande de porc et/ou de bœuf finement hachée

**Salchichon** : saucisson salé séché et fermenté à base de porc de la région méditerranéenne

**Soppressata** : salami italien à base de porc ou de bœuf pouvant être fumé, séché ou cuit

**Sublimation** : passage direct d'un corps de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide

**Sucuk** : viande de bœuf séchée fermentée de Turquie

**TBARS** : réaction chimique servant à mesurer le degré d'oxydation d'un aliment

**Tératogène** : qui produit des malformations chez l'embryon

**Tsusougan, njorsou-gan, sou-song** : viande salée séchée de Chine

**Vary amin'anana** : riz en bouillon avec des brèdes

**Vary sosoa** : riz en bouillon

**Vial** : petit récipient cylindrique en verre, utilisé pour le maintien des échantillons liquides, dans des dispositifs d'auto-échantillonneurs en chromatographie analytique.

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Effectif du cheptel par espèce au niveau national.....	5
Tableau 2 : Teneurs en eau, en protéines, en lipides et en cendres de la viande (%)..	9
Tableau 3 : Caractéristiques du produit traditionnel.....	28
Tableau 4 : Protocole 1 : Quantité de réactifs utilisés pour le dosage des acides D et L lactiques (seuil de détection = 0,025 g/l) .....	39
Tableau 5 : Protocole 2 : Quantité de réactifs utilisés pour le dosage des acides D et L lactiques (seuil de détection = 0,007 g/l) .....	39
Tableau 6 : Préparation des échantillons et de la gamme étalon pour le dosage des phénols totaux.....	41
Tableau 7 : Temps de rétention et longueurs d'onde d'excitation des HAP.....	42
Tableau 8 : Composition de la gamme étalon de HAP.....	43
Tableau 9 : Composition de la gamme étalon pour la détermination de l'indice TBARS	45
Tableau 10 : Etapes d'échantillonnage et paramètres physico-chimiques et microbiologiques analysés.....	58
Tableau 11 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur A. ....	65
Tableau 12 : Résultats des analyses microbiologiques aux différentes étapes d'échantillonnage chez le producteur A.....	68
Tableau 13 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur B.....	74
Tableau 14 : Résultats des analyses microbiologiques aux différentes étapes d'échantillonnage chez le producteur B.....	78
Tableau 15 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur C.....	84
Tableau 16 : Résultats des analyses microbiologiques aux différentes étapes d'échantillonnage chez le producteur C.....	87

Tableau 17 : Matériels utilisés à chaque étape du procédé.....	88
Tableau 18 : Coûts et dépenses engendrés lors de la fabrication du kitoza.....	91
Tableau 19 : Inventaire des espèces de staphylocoques à coagulase négative dans les kitoza de bœuf et de porc.....	93
Tableau 20 : Diversité des espèces de staphylocoques à coagulase négative dans les kitoza séchés et fumés de bœuf et de porc.....	94
Tableau 21 : Points critiques et actions correctives suggérées.....	108
Tableau 22 : Caractéristiques physico-chimiques du produit traditionnel et des produits réingéniérés.....	119
Tableau 23 : Caractéristiques microbiologiques du kitoza de bœuf réingéniéré.....	121
Tableau 24 : Caractéristiques microbiologiques du kitoza de porc réingéniéré.....	121
Tableau 25 : Liste des échantillons de kitoza et détails du procédé.....	123
Tableau 26 : Récapitulation des moyennes±écart-types de notation sensorielle obtenue par les panélistes pour les attributs odeur et aspect.....	124
Tableau 27 : Récapitulation des moyennes±écart-type de notation sensorielle obtenue par les panélistes pour les attributs couleur, texture, goût et flaveur.....	124
Tableau 28 : Acceptation globale moyenne des tests kitoza.....	128

# Liste des figures

Figure 1 : Structure chimique du benzène et de certains hydrocarbures aromatiques polycycliques.....	18
Figure 2 : Diagramme de fabrication du kitoza chez les producteurs et au niveau des ménages.....	27
Figure 3 : Four vertical Capic 35.....	31
Figure 4 : Représentation schématique du four Capic 35.....	32
Figure 5 : Etapes de la production de kitoza chez le producteur A.....	62
Figure 6 : Représentation schématique du fumoir du producteur A vu de face.....	63
Figure 7 : Evolution des températures durant le fumage chez le producteur A.....	64
Figure 8 : Diagramme de fabrication traditionnelle chez le producteur A et données aux différentes étapes.....	67
Figure 9 : Etapes de la production de kitoza chez le producteur B.....	70
Figure 10 : Représentation schématique du fumoir du producteur B vu de face.....	71
Figure 11 : Evolution des températures pendant le fumage 1.....	72
Figure 12 : Evolution des températures pendant le fumage 2.....	73
Figure 13 : Diagramme de fabrication traditionnelle chez le producteur B et données aux différentes étapes.....	76
Figure 14 : Etapes de la production de kitoza chez le producteur C.....	80
Figure 15 : Représentation schématique du fumoir du producteur C vu de face.....	81
Figure 16 : Evolution des températures lors de la cuisson chez le producteur C.....	82
Figure 17 : Evolution des températures lors du fumage chez le producteur C.....	83



Figure 18 : Diagramme de fabrication traditionnelle chez le producteur C et données aux différentes étapes.....	86
Figure 19 : Diagramme simplifié de transformation du kitoza.....	110
Figure 20 : Evolution de la température d'attaque dans le fumoir.....	112
Figure 21 : Evolution de la température à cœur des lanières.....	113
Figure 22 : Evolution de la teneur en eau au cours du fumage.....	113
Figure 23 : Evolution de la teneur en phénols (base sèche) au cours du fumage.....	114
Figure 24 : Evolution de la teneur en B(a)P au cours du fumage.....	115
Figure 25 : Schéma du fumoir utilisé lors de la réingénierie locale.....	117
Figure 26 : Evolution de la température d'attaque lors de la réingénierie locale .....	118
Figure 27 : Evolution des températures à cœur des lanières lors de la réingénierie locale	118
Figure 28 : Analyse en composantes principales (ACP) illustrant la relation entre les descripteurs sensoriels et les kitoza testés (6 échantillons) .....	126

# Liste des annexes

Annexe 1 : Articles et posters

Annexe 2 : Guide kitoza

Annexe 3 : Documents d'enquêtes

Annexe 4 : Composition des milieux de culture

Annexe 5 : Questionnaire consommateurs

Annexe 6 : Liste des attributs avec les définitions

# **INTRODUCTION GENERALE**

Dans les pays en développement, les protéines alimentaires sont essentiellement d'origine végétale. Malgré les efforts dans la promotion de l'élevage, les protéines d'origine animale, à l'exception des poissons, restent peu accessibles pour différentes raisons dont notamment l'insuffisance de moyens de conservation. Des techniques traditionnelles de transformation de la viande ont été développées pour augmenter le temps de conservation et partant diversifier l'apport en protéines (voir détails dans la synthèse bibliographique).

A Madagascar, l'élevage est assez important mais la consommation de viande est limitée. L'abattage ne se fait que lors de grands événements tels la circoncision, le mariage, les funérailles et le sacrifice religieux. Ainsi, ces cérémonies se présentent comme des occasions de s'approvisionner en viande d'où la nécessité de procéder à sa conservation (Rasoarifetra, 2012). En milieu rural, les bouchers n'ont la possibilité de vendre un animal entier que lors des fêtes et il n'existe quasiment pas de moyen de conservation tel que la réfrigération ou la congélation sauf la cuisson, mais dans ce cas, la durée de conservation n'est pas très longue.

Comme il n'y a qu'un jour de marché par semaine, la conservation de la viande s'avère primordiale. Un des moyens de conserver la viande si elle n'est pas consommée dans la journée est d'en faire du kitoza. Le kitoza est un plat traditionnel malgache préparé à partir de lanières de viande de bœuf ou de porc. C'est un produit salé séché et/ou fumé. Autrefois considéré comme un mets royal, il tient encore une place importante dans l'alimentation des Malgaches. Il est recommandé aux femmes allaitantes et aux convalescents.

Cependant, malgré le statut du kitoza, très peu d'études ont été conduites sur ce produit. En effet, à part l'aspect culturel, il n'existe pas de données bibliographiques sur le kitoza.

Actuellement, le kitoza est produit au niveau des charcuteries et des industries modernes. Pourtant, il existe une grande variabilité d'une production à l'autre et même au sein d'une production. Ceci peut être dû probablement à l'absence de standardisation de procédé.

Des travaux préliminaires sur le kitoza ont porté sur la caractérisation de la production et la consommation de kitoza dans la province d'Antananarivo. La qualité du kitoza de bœuf et de porc ainsi que les caractéristiques sensorielles des produits finis ont été déterminées (Andriamampianina, 2012 ; Andrianarison, 2012 ; Andriantahiana, 2012 ; Ratsimba, 2012) (Les résultats sont résumés dans la synthèse bibliographique). Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet européen AFTER ou **A**frican **F**ood **T**radition **r**Evisited by **R**esearch financé par l'Union Européenne et coordonné par le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement). Ce projet visait à améliorer les produits

traditionnels africains ainsi que le savoir-faire y afférent, en partageant des connaissances et des techniques européennes et africaines, afin d'en faire bénéficier les consommateurs et les producteurs en Afrique et en Europe. Il s'adressait à trois groupes de produits à savoir les produits céréaliers, les poissons et viandes ainsi que les extraits de plantes. Le kitoza était le seul produit carné du projet et répondait parfaitement aux critères de sélection en tant qu'aliment traditionnel africain nécessitant une amélioration.

D'après nos informations, aucune maladie liée à la consommation de kitoza quels qu'en soient le type et la technologie utilisée, n'a été rapportée en milieu rural ou dénoncé par la médecine moderne. Or, vu sa popularité et sa cote auprès des étrangers, le produit mérite de figurer parmi les marchés internationaux. Cependant, l'exportation est soumise à des normes de qualité strictes de la part des pays importateurs.

Aussi, nous nous sommes fixés comme objectifs de :

- caractériser le procédé traditionnel de fabrication du kitoza,
- identifier les étapes critiques afin de proposer des solutions pour maîtriser les paramètres de transformation et
- améliorer le procédé traditionnel en tenant compte des exigences du marché extérieur tout en respectant les exigences des consommateurs.

Le présent ouvrage comprend quatre chapitres :

- le Chapitre 1 sera consacré à une « Synthèse bibliographique » ;
- le Chapitre 2 décrira les « Matériels et méthodes » utilisés ;
- les travaux entrepris seront présentés dans le Chapitre 3 « Evaluation des procédés de fabrication du kitoza » et le Chapitre 4 « Réingénierie de la fabrication du kitoza et analyses sensorielles » ;
- une conclusion générale suivie des perspectives terminera le manuscrit.

Les résultats de cette étude ont fait l'objet de 2 articles scientifiques, 6 communications affichées et 4 communications orales. Un guide technique à l'attention des producteurs de kitoza a également été élaboré. Tous ces documents sont retrouvés en Annexes 1 et 2.

# **CHAPITRE 1 :**

## **SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

Cette partie du document rapporte des informations qui permettent de bien situer le sujet et de mieux appréhender les résultats obtenus. Après quelques données générales sur Madagascar, elle traite notamment :

- des procédés de transformation traditionnelle de la viande et des produits carnés dans le monde ;
- des informations sur le kitoza, comprenant les données de la littérature et les résultats de nos travaux antérieurs.

## **1.1 DONNEES GENERALES SUR MADAGASCAR**

Madagascar est la cinquième plus grande île du monde avec une superficie de 587 295 km<sup>2</sup>. Elle est localisée entre les latitudes Sud 11°57 et 25°29 et les longitudes Est 43°14 et 50°27. Elle s'étend sur 1 580 km du Nord au Sud et 560 km d'Est en Ouest. Elle dispose de 5 000 km de côtes et se trouve à la limite sud du milieu tropical. La situation géographique, la forme du relief, l'influence maritime et le régime des vents sont à l'origine des conditions climatiques très variées que l'on rencontre sur l'île. Le pays divisé en 22 régions, a pour capitale Antananarivo.

### **1.1.1 Climat**

Le climat est de type tropical uni modal caractérisé par une alternance de deux saisons : chaude et pluvieuse d'octobre à avril – fraîche et sèche d'avril à octobre. Deux courtes intersaisons d'environ un mois les séparent. La longueur des saisons varie d'une région à l'autre : plus de 2 000 mm de pluie/an pendant 11 mois sur la côte Est contre une longue saison sèche et un déficit pluviométrique dans la région Sud (275 mm à Tuléar). L'altitude accentue par ailleurs les variations de température. Enfin, Madagascar subit annuellement pendant les saisons de pluies et plus particulièrement entre janvier et mars, les effets du passage des cyclones.

### **1.1.2 Population**

La population malgache compte 18 ethnies et en 2014, elle a été estimée à 22 434 363 d'habitants selon une projection démographique (Instat, 2016). La population est jeune avec 50% ayant moins de 20 ans. Le taux moyen d'alphabétisation est de 59,2% pour les individus âgés de 15 ans et plus (78% en milieu urbain et 53,2% en milieu rural). En milieu rural, 75% des femmes sont illettrées contre 60% des hommes. En milieu rural, 56% des enfants en âge

scolaire sont non scolarisés avec un taux global d'achèvement du premier cycle fondamental de 16%.

Aujourd'hui, les deux tiers de la population malgache vivent en dessous du seuil de pauvreté (80% en milieu rural et 55% en milieu urbain) et plus de 60% souffrent de malnutrition (BAfD/OCDE, 2005).

### **1.1.3 Economie**

Madagascar est classé parmi les pays les plus pauvres de la planète avec un taux de pauvreté au niveau national de 76,5% en 2010 et de 71,5% 2012. Durant ces mêmes années, en zone urbaine, ces chiffres étaient de 54,2 et 48,5% tandis qu'en zone rurale, ils étaient de 82,2 et 77,3% respectivement. En 2013, l'indicateur de développement humain (IDH) était faible. Sa valeur était de 0,498 et Madagascar se situait au 155<sup>ème</sup> rang parmi 187 pays. A titre de comparaison, les valeurs de l'IDH du monde entier et des pays moins développés sont en moyenne de 0,702 et 0,487 respectivement (Instat, 2016). L'élevage constitue avec l'agriculture l'élément de base de l'économie malgache et la principale source de revenus de 25% de la population rurale.

Madagascar est membre de la SADC (Southern African Development Community) et de la COMESA (Common Market for the Eastern and Southern of Africa ou marché commun pour l'Afrique orientale et australe) qui sont des associations économiques de pays d'Afrique visant à échanger et élargir les marchés locaux. Une des principales opportunités commerciales des produits agricoles au niveau des pays membres de la SADC est l'accès au marché sud-africain, étant donné que 70% du PIB de la République de l'Afrique du Sud (RAS) représente 70% de la SADC. Cependant, d'après une étude de la Banque Mondiale, les pays membres de la SADC ont des difficultés à augmenter leurs exportations agricoles vers la RAS qui se tourne alors vers les autres régions de monde. Les raisons invoquées sont les coûts des transports, des règles d'origine protectionniste, l'insuffisance des volumes de production, le manque de connaissance du marché, les problèmes de normes et de qualité et les problèmes de communication (Ralaifenomanana, 2009).

### **1.1.4 Agriculture et élevage**

Les activités principales de la population malgache sont l'agriculture et l'élevage.

Environ 80% de la population ont pour activité principale l'agriculture. A Madagascar, celle-ci se caractérise par une multitude des petites exploitations (surfaces cultivées moyennes :



1,2 hectares) qui associent plusieurs activités (culture et élevage) et dont les produits sont principalement orientés vers l'autoconsommation (Instat, 2000).

Le riz est de loin, la culture la plus importante car il constitue 44% de la production de cultures vivrières (Ralaifenomanana, 2009). Le riz étant l'aliment de base, en moyenne la consommation de riz annuelle d'un Malgache est de 129 kg, l'une des plus élevées au monde (BAfD/OCDE, 2005). Cet aliment absorbe aussi 40% des dépenses alimentaires totales. L'agriculture pratiquée est traditionnelle et peu intensive, ne donnant que de très faibles rendements (le rendement moyen du riz, au niveau national, est de l'ordre de 2,71 t/ha).

De tout temps, le zébu malgache a constitué la principale source de viande du pays (Serres, 1973). Actuellement, les protéines d'origine animale sont consommées à un niveau moyen de 22,4 kg/habitant/an et sont apportées par le zébu et le porc principalement (Rasambainarivo et Ranaivoarivelo, 2003).

Quatre sortes d'élevage sont essentiellement pratiquées à Madagascar : l'élevage bovin qui est le plus important, l'élevage porcin, ovin, caprin et l'aviculture. La peste porcine africaine a ravagé tout le cheptel porcin en 2002, mais actuellement l'élevage porcin commence à reprendre (Rousset *et al.*, 2001). En 2010, l'effectif du cheptel bovin et porcin était estimé respectivement à 9 881 130 et 1 408 500 têtes contre 9 805 000 et 1 373 770 en 2009. Cette amélioration est le fait d'actions d'appui technique à la production animale, comme les opérations d'insémination artificielle de bovins et de vaccination des animaux. L'effectif du cheptel par espèce au niveau national de 2007 à 2010 est présenté dans le tableau 1 (MINAGRI, 2012).

Tableau 1 : Effectif du cheptel par espèce au niveau national

<b>Espèces</b>	<b>Bovins</b>	<b>Porcins</b>	<b>Ovins</b>	<b>Caprins</b>	<b>Volailles</b>
<b>Année</b>					
<b>2007</b>	9 647 000	1 314 370	729 890	1 279 720	ND
<b>2008</b>	9 730 000	1 346 000	747 800	1 310 420	ND
<b>2009</b>	9 805 000	1 373 770	762 740	1 387 020	3 411 000
<b>2010</b>	9 881 130	1 408 500	780 220	1 419 120	3 470 250

ND : non déterminé

La tendance globale qui se dégage de ce tableau, est la croissance lente annuelle du nombre d'animaux de chaque espèce. La principale cause tient de la situation générale

d'insécurité dans le milieu rural. Elle pousse un grand nombre d'éleveurs à réduire le nombre de cheptel domestiqué et vacciné, laissant une partie de leurs animaux, en particulier les bovins à l'état semi sauvage donc non enregistrée dans les statistiques (Rasambainarivo et Ranaivoarivelo, 2003)

Il existe deux sortes d'abattage à Madagascar, l'abattage respecté et l'abattage déclaré (Buck, 1973 ; Ribot, 1993) :

- l'abattage respecté est réalisé dans les abattoirs et les tueries, où les animaux sont inspectés par des vétérinaires sanitaires et où une estampille est apposée sur la viande. L'Arrêté Interministériel n° 274/2005 du 09 février 2005 définit « abattoir » comme tout établissement d'abattage où sont abattus et préparés des animaux de boucherie, et « tuerie » comme toute infrastructure non équipée en installations frigorifiques où sont abattus et préparés des animaux de boucherie, ayant une capacité d'abattage de moins de vingt bovins par jour. A défaut d'agent d'élevage ou d'auxiliaire vétérinaire, comme dans les lieux reculés, ce sont les auxiliaires de santé publique qui assurent l'inspection des viandes et sont habilités à effectuer des prélèvements sur des produits suspects. Leurs rapports sont envoyés au Ministère de la Santé ;
- l'abattage déclaré concerne les animaux tués hors des sites d'abattage lors des rites traditionnels, d'événements culturels et sociaux (retournement des morts, enterrement, mariage, événement sportif,...) et qui ne sont pas forcément inspectés. Les données correspondantes sont envoyées au Ministère de l'Intérieur.

Les recensements de l'abattage des animaux sont réalisés par le Département de Service Vétérinaire ou DSV. Toutes les données de l'abattage respecté effectué par les personnels vétérinaires sont enregistrées. Mais les statistiques peuvent être sous estimées à cause de la non expédition au DSV des données enregistrées auprès des différents ministères et des abattages non déclarés touchant les animaux volés abattus clandestinement et ceux refusés lors de l'inspection sanitaire comme le cas du porc ladre (Buck, 1973).

A cause du niveau de revenu très bas, l'insécurité alimentaire est prédominante en milieu rural, particulièrement dans la partie Sud de Madagascar. La baisse du pouvoir d'achat, les différents problèmes liés au bétail (maladies, vol,...) ont eu un effet sur la consommation de viande. Selon les dernières données obtenues auprès du DSV, au niveau national, le nombre de têtes abattues diminue chaque année. Les chiffres officiels annoncent qu'en 2014 et 2015, 1 059 492 et 980 143 bœufs ont été abattus respectivement tandis que pour le porc, 985 623 et 675 962 bêtes ont été abattues (Instat, 2015).

Le bœuf tient une place importante dans la vie quotidienne des Malgaches. Il est très peu orienté vers une logique de production et de commercialisation, mais revêt une importance capitale du point de vue socio-culturel. En effet, pour la grande majorité de la population rurale des régions de l'Ouest et du Sud, la disponibilité d'un grand troupeau de zébus est un signe extérieur de richesse souvent allié à un grand pouvoir de décision. Les zébus servent aussi aux travaux agricoles en tant qu'animaux piétineurs de rizières et assurent la traction des instruments de travail du sol et des charrettes de transport de biens et de personnes. Les vols de zébus sont courants dans certaines régions de l'île. Leurs motivations sont en général d'ordre sociologique, politique, et économique. Par exemple, dans le Sud de Madagascar, le bœuf est un symbole de force et de responsabilité. Avant de se marier, un jeune homme doit voler un bœuf et le donner au père de la future jeune femme.

Les zébus représentent une institution financière pratique à plus d'un titre puisqu'elle pourvoit aussi aux exigences familiales et religieuses : le troupeau est donc une véritable épargne.

#### **1.1.5 Problèmes limitant la commercialisation de viande à Madagascar**

La transformation de la viande et sa commercialisation sont assurées principalement par les professionnels de la viande (bouchers, charcutiers, grandes enseignes de vente).

Une des causes limitant la commercialisation de la viande est sa disponibilité qui est due à une baisse de production saisonnière (animaux affectés aux travaux des champs, vols de bœufs pour des raisons culturelles, politiques ou économiques, exportation massive des animaux sur pied).

Un autre problème rencontré par les commerçants est le nombre limité d'animaux abattus. Cela peut être dû à la difficulté d'écouler un animal entier à cause de la faiblesse du pouvoir d'achat des consommateurs, aux pathologies animales (Buck et Daynes, 1964 ; Cheneau et Blancou, 1976 ; Rousset *et al.*, 2001) et à la spéculation (stockage du bétail pour augmenter les prix de vente). La commercialisation de la viande suit le rythme rapide du débit des viandes fraîches par manque de moyens de conservation adéquats et en l'absence de chaîne de froid.

Enfin, la viande est souvent contaminée par des parasites ce qui réduit sa valeur et incite les producteurs à vendre l'animal le plus vite possible (Buck et Daynes, 1964 ; Daynes et Bocchet, 1973 ; Richez, 1973 ; Rasamoelina-Andriamanivo *et al.*, 2013 ; Porphyre, 2015). Cette

viande contaminée, bon marché, est achetée par les ménages à faibles revenus. Toutefois, même si la viande présentée à l'étalage est saine, les consommateurs sont réticents à l'acquérir. Un phénomène préoccupant actuellement est l'utilisation d'hormones contraceptives et d'antibiotiques en élevage. En effet, des éleveurs recourent à des solutions de facilité pour améliorer leurs rendements. Par exemple, les médicaments sont injectés dans les aliments des truies pour empêcher leur fécondité et optimiser leur engraissement. Cette tendance représente une menace réelle pour la santé publique car les consommateurs avalent ainsi des produits médicamenteux soupçonnés d'engendrer les mêmes effets chez les humains.

Si l'on se place du côté des consommateurs, compte tenu des raisons évoquées plus haut, les consommateurs connaissent des problèmes d'accessibilité. Ils peuvent être d'ordre physique tels que l'éloignement des marchés, la non disponibilité ou l'insuffisance de la viande au marché et l'inexistence de moyens de conservation. Ils peuvent être également d'ordre économique dû au faible pouvoir d'achat des ménages, limitant ainsi l'achat de la viande. En effet, le revenu minimum est de 150 000 Ar (50 €) alors que le kilo de viande est actuellement de 12 000 Ar (4 €). La viande est ainsi une denrée de luxe presque impossible à acquérir pour certains.

Des lois régissent la production, le suivi et la commercialisation de la viande et des produits carnés (Décret n° 92-285 du 26 février 1992, Décret n° 93-844 du 16 novembre 1993, Arrêté n° 8333/2001 du 30 juillet 2001, Arrêté Interministériel n° 24 657/2004 du 23 décembre 2004, Arrêté Interministériel n° 274/2005 du 09 février 2005, Décret n° 2005-503 du 26 juillet 2005, Loi n° 2006-030 du 24 novembre 2006). Cependant, ces lois sont parfois inadaptées et l'application ainsi que le contrôle ne sont pas toujours effectifs.

La principale condition d'exportation vers l'Europe est la traçabilité de la viande, ainsi que le respect de normes exigeantes en matière d'hygiène et de santé. En 1997, le pays a subi un embargo sur les produits d'origine animale suite à une inspection confirmant l'absence d'un système de contrôle et le non-respect des normes d'hygiène, de salubrité et de traçabilité des animaux. Tous les produits d'origine animale dont le foie gras et même le miel étaient concernés (Tribune-Madagascar, 2007). Bien que récemment l'embargo ait été levé, aucune exportation de produits carnés transformés vers l'Europe n'est effectuée.

Ces différents problèmes constituent des obstacles à la commercialisation et empêchent les petits éleveurs de bétail en milieu rural de développer leur production et accroître leurs ressources. Une des solutions possibles est de conserver la viande en la transformant.

## **1.2 LA VIANDE : PROCEDES DE TRANSFORMATION ET PRODUITS**

Par définition, la viande est constituée de tous les tissus musculaires des animaux de boucherie. Par extension, on appelle viande toute partie consommable des animaux destinés à la consommation humaine, incluant les organes internes (langue, cœur, foie, rein, poumon, diaphragme, œsophage, intestins), les carcasses, les tissus adipeux et les muscles. Le gras ainsi que d'autres produits de l'abattage (le sang, la tête) sont aussi utilisés dans la fabrication de produits carnés. La viande est composée d'eau, de lipides, de protéines, d'éléments minéraux et d'une petite quantité de glucides. La teneur en eau est inversement liée à la teneur en lipides comme le montre le tableau suivant (Pearson et Gillett, 1996).

Tableau 2 : Teneurs en eau, en protéines, en lipides et en cendres de la viande (%)

<b>Produit</b>	<b>Teneur en eau</b>	<b>Teneur en protéines</b>	<b>Teneur en lipides</b>	<b>Teneur en cendres</b>
Bœuf (maigre)	75	22,3	1,8	1,2
Carcasse de bœuf	54,7	16,5	28	0,8
Porc (maigre)	75,1	22,8	1,2	1
Carcasse de porc	41,1	11,2	47	0,6

Les protéines sont du point de vue nutritionnel les composants les plus importants. La viande et les produits carnés sont d'excellentes sources de protéines, quantitativement et qualitativement, étant donné que les acides aminés essentiels (ne pouvant être synthétisés par l'homme) y sont disponibles en proportions et concentrations équilibrées (Heinz et Hautzinger, 2007).

En 2015, la consommation moyenne de viande par habitant dans le monde entier est estimée à 41,3 kg/an. Dans les pays en voie de développement et les pays industrialisés, la consommation de viande prévue est de 31,6 kg/an et 95,7 kg/an, respectivement (FAO, 2014).

La viande est cependant un aliment hautement périssable en raison de la teneur en eau élevée et de l'abondance de nutriments qui favorisent la croissance et la multiplication des microorganismes. La présence de certains de ces organismes dans la viande peut la rendre toxique et impropre à la consommation humaine. Comme la viande se détériore très rapidement, l'homme a, au fil des siècles, développé un certain nombre de techniques de conservation qui

peuvent maintenir sa stabilité et augmenter sa durée de vie tout en gardant sa valeur nutritive et sa saveur (Ogbonnaya et Imodiboh, 2009 ; Apata *et al.*, 2013).

### **1.2.1 Procédés traditionnels de transformation de la viande dans le monde**

Sous les tropiques, la périssabilité de la viande est plus marquée. Il est essentiel d'appliquer des moyens de préservation adéquats pour maintenir sa qualité et permettre sa conservation (Aymerich *et al.*, 2008). Il s'agit de moyens faciles à mettre en œuvre et peu coûteux visant à altérer la croissance microbienne, l'action des enzymes de lyse et la dégradation physico-chimique, mais aussi à obtenir des produits nutritifs et savoureux. Les opérations unitaires généralement utilisées sont le salage, le séchage et le fumage.

#### **Salage**

Le sel est l'ingrédient de base du salage des produits carnés transformés. Il contribue à la déshydratation du produit en éliminant une partie de l'eau de constitution. En modifiant la pression osmotique et en diminuant la disponibilité de l'eau, le sel inhibe la croissance et la multiplication de la plupart des bactéries intervenant dans l'altération, mais favorise la croissance des halophiles (Knockaert, 1990). Il augmente le pouvoir de rétention d'eau, et agit sur les caractéristiques sensorielles en améliorant la couleur, la flaveur, la saveur et la texture de la viande par un raffermissement des tissus (Hotchkiss, 1988 ; Purriños *et al.*, 2011). En outre, le sel diminue l'activité de l'eau ( $A_w$ ), ce qui affecte de manière significative la durée de vie de la viande (Girard, 1988 ; Taormina, 2010 ; Pearson et Gillett, 1996). Des teneurs en sel de 2-3% sont généralement acceptées. Mais des taux de sel supérieurs ou inférieurs sont fréquents comme dans le cas des produits séchés/maturés, où la dose d'incorporation est plus élevée, de l'ordre de 3 à 3,5%. Dans la plupart des formules de fabrication des charcuteries, la dose moyenne de sel incorporée est de 1,8% (Durand, 1999 ; Pearson et Gillett, 1996). Le sel augmente la solubilité des protéines musculaires favorisant ainsi l'expression de leurs propriétés technologiques (pouvoir émulsifiant, liant, ...). Par contre, le sel favorise l'oxydation et le rancissement des gras (Durand, 1999). Selon Sainclivier (1985), divers facteurs tels l'état de fraîcheur du produit, la teneur en graisse, la température ou la qualité et la granulométrie du sel influent sur la vitesse et l'intensité du salage ainsi que sur la qualité du produit fini.

Deux méthodes de salage sont utilisées : le salage à sec et le salage en saumure (Sainclivier, 1985 ; Knockaert, 1990). Dans le salage à sec, les ingrédients ajoutés directement sur la viande y sont transportés par diffusion. Lors du saumurage, la viande est immergée dans une solution aqueuse de sel à laquelle peuvent être ajoutés des épices et des condiments. La

saumure agit de la même manière que celle formée par le jus de viande et les ingrédients du salage à sec. La dose de sel incorporée dans la saumure est de l'ordre de 16 à 25%. Dans le cas de la première technique, la pénétration du sel est plus rapide et le taux d'humidité sera plus faible que le salage en saumure. Par contre, le produit final est plus salé et sa couleur est altérée. L'ajout de nitrite et/ou de nitrate permet de maintenir la couleur de la viande (Pearson et Gillett, 1996 ; FAO, 2003).

### Séchage

Le séchage est une opération unitaire qui a pour but d'éliminer par évaporation l'eau de constitution d'un produit afin d'allonger sa durée de vie, d'éviter la prolifération des micro-organismes, de stopper les réactions enzymatiques et donc de conserver les denrées alimentaires. Par ailleurs, le séchage a aussi pour effet la réduction de poids, l'augmentation de la teneur en protéines ainsi que l'obtention de plus petits volumes (Kleih, 1995 ; Kalilou, 1997 ; Yacouba, 2010). Cependant, les produits déshydratés ne sont pas stériles, et toute réhydratation accidentelle sera néfaste, voire dangereuse.

Le séchage généralement utilisé dans les pays tropicaux est le séchage au soleil. Économique, car ne consommant pas d'énergie et ne nécessitant que peu d'équipement, il est toujours utilisé dans de nombreux pays pauvres où les moyens coûteux que représentent la lyophilisation ou l'appertisation dépassent les possibilités financières des habitants. Pendant le séchage, la viande est suspendue ou disposée sur des claies pour être exposée à l'air libre et sous le soleil.

L'eau libre est d'abord évaporée dans la zone périphérique, puis il s'ensuit une migration constante de l'eau des couches profondes vers la périphérie. Plus le séchage se poursuit, plus l'évaporation est lente car l'eau est de plus en plus liée. L'activité en eau d'un produit diminue donc avec la teneur en eau, empêchant ainsi la multiplication des bactéries. Soumis à la déshydratation, un aliment se contracte et ceci d'autant plus que le phénomène est lent. Par contre, si la déshydratation est rapide, une couche rigide se forme à la surface de l'aliment et va déterminer la forme et le volume définitifs du produit. A l'intérieur, suite à la déshydratation, la structure devient poreuse. Les produits obtenus se réhydratent donc facilement, mais possèdent l'inconvénient d'être plus sensibles à l'oxydation et de présenter un volume coûteux au stockage. L'évaporation continue ainsi que la perte en poids pendant le séchage lent modifient l'aspect de la viande par le rétrécissement du muscle et du tissu conjonctif. Les morceaux de viande sont plus petits, plus minces, plus durs, ridés et de couleur

plus sombre (Heinz et Hautzinger, 2007). La saveur caractéristique de la viande fraîche disparaît au profit d'un arôme particulier à la viande séchée.

Les réactions d'oxydation et de brunissement non enzymatique (réaction de Maillard) ainsi que l'action de certaines enzymes peuvent se poursuivre au cours de l'entreposage.

### Fumage

Le fumage consiste à exposer un aliment à l'action de composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de certains végétaux (hors résineux).

Le fumage traditionnel est généralement direct (c'est-à-dire que la fumée est produite dans la même cellule que la viande) consistant généralement en la dégradation directe du bois pour produire de la fumée (Ahmad, 2003 ; CAC/RCP 68/2009 ; Ledesma *et al.*, 2016a).

Pearson et Gillett (1996) ont décrit les principaux buts du fumage comme étant le développement de l'arôme et de la flaveur fumés, la préservation, la création de nouveaux produits, le développement de la couleur et la protection contre l'oxydation. La couleur dorée à la surface de la viande résulte du fumage. Cette couleur est stabilisée par le chauffage durant la cuisson et elle est due à la réaction de Maillard. Cette dernière est l'ensemble des interactions résultant de la réaction initiale entre un sucre réducteur et un groupement aminé. Elle est la responsable principale de la production des odeurs, des arômes et des pigments caractéristiques des aliments cuits.

La fumée exerce une action antioxydante en retardant la dégradation oxydative des lipides ainsi qu'une action bactériostatique et bactéricide due à certains composés comme les phénols et les acides. Le fumage améliore ainsi la durée de vie des produits. Par ailleurs, le départ de l'eau à partir de la surface de la viande durant le fumage freine et réduit la multiplication des bactéries.

La composition de la fumée est définie par le type de combustible (nature, taux d'humidité) et les conditions de fumage (température, le temps, l'humidité, le débit de l'air). Les composants chimiques les plus couramment trouvés dans la fumée de bois comprennent des phénols, des acides organiques, des alcools, des carbonyles, des hydrocarbures et des composants gazeux tels que le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), l'oxygène (O<sub>2</sub>), l'azote (N<sub>2</sub>), et de l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) (Sainclivier, 1985 ; Pearson et Gillett, 1996).



Les bois durs sont les plus utilisés car ils engendrent un arôme supérieur à celui obtenu avec des bois tendres. Les bois résineux sont à proscrire car ils engendrent un arôme désagréable et des goudrons. Des taux élevés d'humidité conduisent à des fumées à faibles teneurs en phénols et à des teneurs élevées en acides et en composés carbonylés conférant une saveur acide aux produits. La température optimale de pyrolyse du bois semblerait se situer entre 400 et 600°C, fourchette permettant de limiter à des valeurs faibles les teneurs en composés cancérigènes, et d'obtenir une fumée riche en phénols responsables de la saveur agréable des produits fumés (Potthast, 1979 ; Knockaert, 1990).

Les phénols contribuent aussi au développement de la couleur et de la saveur des produits fumés. Le développement de la couleur est dû à l'interaction des carbonyles dans la phase vapeur de la fumée avec les groupes aminés à la surface du produit (réaction de Maillard). La formation de la couleur est directement reliée à la densité de la fumée, la température et la teneur en eau à la surface des produits. Une teneur en eau de 12-15% à la surface de la viande permettrait le développement maximum de la couleur. Une déshydratation de la surface est donc nécessaire pour la formation de la couleur durant le fumage.

Le rôle des alcools dans la fumée du bois semble être principalement celui de support pour les autres composants volatils. Les alcools ne semblent pas participer à la formation de la saveur ou de l'arôme, mais ils peuvent exercer un effet bactéricide mineur. Les acides organiques ont peu ou pas d'influence directe sur l'arôme ou la saveur des produits fumés. Ils ont seulement une action de conservation mineure, qui se produit à la suite d'une plus grande acidité sur la surface de la viande fumée.

La cuisson a généralement lieu avec le fumage car des températures élevées sont atteintes lors du fumage traditionnel. Lors de la cuisson, les protéines de la viande sont dénaturées et coagulent, leur solubilité et leur couleur étant ainsi modifiées. La saveur de la viande est rehaussée car sa saveur et sa texture sont améliorées. Ainsi, la texture, la couleur et l'aspect de la viande dépendent de la durée du fumage (Ledesma *et al.*, 2016b). Les bactéries sont tuées augmentant ainsi la durée de conservation de la viande. Les enzymes protéolytiques endogènes sont inactivés empêchant ainsi le développement de saveur indésirable. Dans la même foulée, la teneur en eau est diminuée, surtout en surface, entraînant la baisse de l'activité de l'eau. La cuisson stabilise aussi la couleur rouge des viandes et des produits carnés.

Les produits à fumer subissent des traitements préliminaires comme la découpe et le salage. Le salage favorise la pénétration de la fumée dans les microgouttelettes d'eau en dissolution dans la matière grasse.

Il existe deux types de fumage : le fumage à froid et le fumage à chaud. Le premier consiste à exposer la viande à l'action de la fumée dont la température est comprise entre 18 et 30°C. Le fumage peut durer de quelques heures à plusieurs jours selon le produit désiré. Ce procédé ne permet qu'une réduction partielle du risque de contamination bactériologique car la viande fumée à froid restant crue doit être réfrigérée et ne se conserve guère plus longtemps que la viande fraîche. Le fumage à chaud permet de conserver l'aliment grâce à la cuisson, la déshydratation et l'action protectrice des composants de la fumée. Durant le fumage à chaud, selon les auteurs, les températures de la fumée varient entre 55 et 80°C même 130°C et les températures à cœur de la viande varient de 65 à 80°C (Knockaert, 1990 ; Ahmad, 2003 ; Woods, 2003) afin de garantir la destruction des bactéries. Ce traitement thermique est plus court et provoque la dénaturation des protéines. L'action bactéricide du fumage est due à l'effet combiné de la cuisson, du séchage et des constituants chimiques de la fumée.

Le dépôt de fumée est régi par des paramètres inhérents au produit tels l'humidité et l'Aw du produit traité et sa teneur en gras.

La majorité des produits fumés à base de viande résultent de la combinaison de ces procédés.

### **1.2.2 Exemples de différents produits carnés traditionnels**

Les techniques traditionnelles de transformation des produits de viande dans les tropiques sont souvent basées sur des opérations séparées ou combinées de salage, séchage et de fumage qui ont pour objectif commun la diminution de la teneur en eau.

Grâce à ces procédés de transformation et/ou de conservation de la viande, plusieurs produits sont obtenus de par le monde. Ces produits sont faciles à préparer et consommés dans de nombreuses régions du monde, et sont sans danger et conservables sans réfrigération (Leistner, 1985 ; Dzimba *et al.*, 2007).

On peut citer :

- En Asie : le tsusou-gan, le njorsou-gan et le sou-song de Chine, le dendeng d'Indonésie, ... (Leistner, 1985 ; Purnomo, 2011)
- En Afrique : le biltong, le kilishi, le kundi, ... (Lewis *et al.*, 1957 ; Van der Riet, 1982 ; Alonge, 1987 ; Kalilou *et al.*, 1997)
- En Amérique latine : le jerky, le charqui, le carne de sol, ... (Norman et Corte, 1985 ; Torres *et al.*, 1994 ; Carr *et al.*, 1997)

### Le biltong

Le biltong est un produit carné salé séché largement consommé en Afrique du Sud. Il est préparé à partir de la viande de bœuf généralement, ou d'antilope, d'autruche, et rarement d'éléphant ou de girafe. Presque tous les muscles de la carcasse peuvent être utilisés pour sa fabrication mais la viande maigre est préférée aux autres muscles (Van der Riet, 1982 ; Burfoot *et al.*, 2010).

La viande est découpée en longues lanières de 4 x 2,5 x 20-30 cm qui sont ensuite assaisonnées uniquement avec du sel et/ou des épices ou marinées dans du vinaigre et des épices. Les ingrédients généralement ajoutés sont le sucre, le salpêtre, les nitrites et nitrates, la coriandre, le poivre, l'ail, le quatre-épices et l'anis (Lewis *et al.*, 1957 ; Taylor, 1976 ; Van der Riet, 1982 ; Naidoo et Lindsay, 2010).

Traditionnellement, la viande est plongée dans du vinaigre de cidre pendant trente secondes, puis séchée et enfin les épices tels que le poivre noir, le sel, la coriandre et le sucre brun sont ajoutés. Tandis que dans les usines à grande échelle, la viande est marinée dans le vinaigre et les épices à la fois (Naidoo et Lindsay, 2010).

Le biltong est ensuite séché pendant une à deux semaines. Les lanières sont suspendues et bien espacées, à l'abri du soleil et de l'eau. Pour des productions à plus grande échelle, des enceintes de séchage sont utilisées permettant de réduire la durée de séchage à quelques jours. Il peut être conservé pendant des mois sans réfrigération.

Le biltong peut être consommé tel quel mais n'a pas besoin d'être réhydraté ou cuit (Burfoot *et al.*, 2010 ; Santchurn, 2012).

Van den Heever (1970) a analysé 60 échantillons de biltong commerciaux et en a donné la composition. En moyenne, la teneur en eau et l'Aw étaient respectivement de 25,2% et 0,742. La teneur en sel et le pH étaient de 6,6% et 5,8 respectivement. Quant aux

caractéristiques microbiologiques, la flore totale variait entre 3,1 et 8,7 log cfu/g avec une moyenne de 7,8 log cfu/g. *Salmonella* a été détecté dans 3,3% des échantillons. 45% des échantillons étaient contaminés par *Escherichia coli* mais *Staphylococcus aureus* n'a pas été trouvé dans les échantillons. Des levures et des moisissures étaient présentes dans 68,3% des échantillons.

Lewis *et al.* (1957) ont rapporté que le biltong, avec une teneur en eau de 11,5%, une teneur en protéines et en lipides de 65% et 1,9% respectivement, était utilisé au cours de longs voyages.

### Le kilishi

Le kilishi est un produit carné traditionnel du Nigeria et des pays du Sahel, préparé à partir de la viande de bœuf, de mouton, de chèvre ou de chameau. La pièce de viande est découpée en morceaux de 3-4 mm d'épaisseur et de 0,5-1 m de long. Les lanières sont ensuite mises à sécher sur de la paille sur une table en bois pendant 4 à 7 heures et retournées périodiquement pour un séchage uniforme du produit. Enfin, le produit séché est enrobé de sauce dont les ingrédients diffèrent selon le type de préparation puis rôti. Le kilishi peut se conserver jusqu'à 12 mois à température ambiante (Igene, 1990 ; Santchurn *et al.*, 2012).

Une évaluation microbiologique et nutritionnelle sur des échantillons de kilishi conservés pendant huit semaines a été effectuée par Jones *et al.* (2001). D'après les résultats, le produit final présente une teneur en eau, une activité de l'eau et un pH de 6,92%, 0,58 et 5,81 respectivement. Ces valeurs montrent que le kilishi est suffisamment déshydraté pour empêcher le développement des microorganismes. Les teneurs en protéines et en lipides sont de 61,96% et 25,39%. La concentration de la flore totale est de 4,9 log cfu/g, tandis que celle des levures et moisissures est de 2,9 log cfu/g. Cependant, les produits pourraient être contaminés lors de l'ajout des ingrédients qui renferment des taux élevés de microorganismes pouvant être pathogènes (Shamsuddeen, 2009).

### Le Kundi

Le kundi est obtenu à partir de la viande de bœuf, de chameau ou de cheval dans les régions du Nord du Nigeria.

La viande est préalablement découpée en morceaux puis fumée. Avant le fumage, la viande peut être salée et/ou bouillie (Alonge, 1987 ; Kleih, 1995). Le fumage dure 3 à 15 jours à des températures élevées (165-180°C) et s'effectue dans des fumoirs en fût. La teneur en eau

est de 41,65% et l'Aw est de 0,824. L'analyse de 20 échantillons de kundi a révélé une teneur en BaP de 41,03 µg/kg (0,85-66,91 µg/kg) (Alonge, 1987).

Le kundi est conservable sans réfrigération. Selon les enquêtes menées par Kleih (1995), le kundi peut être conservé jusqu'à un an dans de bonnes conditions de stockage.

Les résultats d'Adeyeye (2016) montrent les caractéristiques de 50 échantillons de kundi récoltés dans des supermarchés. Les teneurs en eau, en protéines et en lipides varient respectivement de 10,23 à 12,63%, 61,98 à 64,47 et enfin 9,76 à 12,27%. Cependant, le produit est contaminé par des champignons avec des concentrations de l'ordre de 3,3 à 3,7 log cfu/g, qui peuvent engendrer des risques pour la santé.

### **1.2.3 Effets des traitements technologiques sur la qualité de la viande**

Comme nous l'avons vu précédemment, les caractéristiques sensorielles du produit traité se développent au cours du procédé. La couleur est obtenue par la réaction de Maillard. Le salage permet d'obtenir un produit à texture plus ferme. La tendreté et la jutosité sont améliorées par la cuisson généralement conduite avec le fumage. La flaveur et la texture du produit se développent durant le séchage et le fumage. Le traitement thermique a pour but d'améliorer, non seulement la durée de conservation par la déshydratation de l'aliment entraînant la réduction des microorganismes, mais aussi le goût et la flaveur. La fumée donne un goût, une couleur et un arôme spéciaux à la nourriture, et possède des propriétés bactériostatiques et antioxydantes (Simko, 2002 ; Roseiro *et al.*, 2011).

Il faut cependant noter que des procédés de transformation non conformes peuvent engendrer des effets indésirables sur la viande, sur la santé et l'environnement (FAO, 2013). Ces effets sont notamment dus d'une part à l'oxydation des lipides durant le séchage et le stockage, et d'autre part à la dégradation des acides aminés essentiels des protéines ainsi que des vitamines, et à la contamination du produit par les composés toxiques de la fumée. Une attention particulière a été accordée au fumage à cause de la contamination des aliments par les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP. Les effets nuisibles se traduisent par une altération des qualités hygiéniques et de la valeur nutritionnelle des aliments traités.

Les HAP constituent une grande famille de composés toxiques connus depuis de nombreuses années pour leurs effets néfastes sur la santé que nous verrons dans le paragraphe suivant.

## **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Les produits carnés transformés se distinguent par la présence des HAP. Ils sont connus pour induire de nombreux effets toxiques (hépatiques, hématologiques, immunologiques...), des effets néfastes sur la reproduction ainsi que des effets génotoxiques et cancérigènes (International Agency for Research on Cancer, 2010). Le plus connu est le 3,4-benzo(a)pyrène, un hydrocarbure aromatique polycyclique particulièrement cancérigène, mutagène et cytotoxique.

Les HAP sont des composés organiques constitués uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène et comprennent au minimum deux cycles aromatiques adjacents qui partagent au moins deux atomes de carbone (Figure 1). Des hétérocycles et des portions alicycliques peuvent également être présents dans la structure.

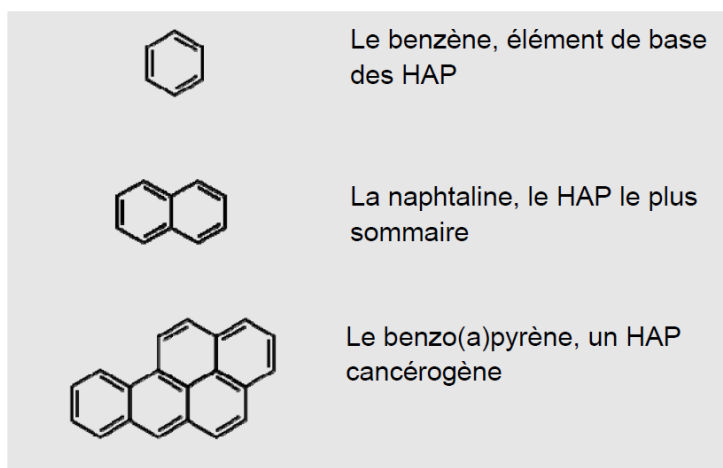


Figure 1 : Structure chimique du benzène et de certains hydrocarbures aromatiques polycycliques

En général, les HAP se divisent en deux groupes : ceux à faible poids moléculaire (2 à 3 noyaux benzéniques) dits HAP légers et ceux à poids moléculaire élevé (plus de 4 noyaux benzéniques) appelés HAP lourds. Ces derniers sont plus stables et plus toxiques que les légers. Les HAP légers sont plus volatils, plus solubles dans l'eau et moins lipophiles que les lourds (Wenzl *et al.*, 2006 ; Farhadian *et al.*, 2010).

Ces composés se présentent sous forme de cristaux colorés avec des points de fusion et d'ébullition élevés, une faible pression de vapeur et une faible solubilité dans l'eau.

### a) Origine et formation

Les HAP sont synthétisés au cours de la combustion (les réactions avec l'oxygène de l'air) des composés organiques et de leur pyrolyse (la décomposition par la chaleur). Les

sources naturelles sont les feux de forêts, les éruptions volcaniques... Les principales sources anthropiques sont la circulation des véhicules, les industries, le chauffage domestique et l'incinération de déchets. La très grande majorité des HAP présents dans l'air proviennent de ces processus de combustion. Les HAP sont ainsi omniprésents dans l'air ambiant sous formes gazeuse et particulaire et peuvent atteindre des concentrations toxiques pour la santé.

Les aliments grillés, fumés et rôtis présentent un risque sanitaire élevé pour le consommateur, en raison des teneurs élevées en HAP trouvées dans ces produits, par rapport aux aliments préparés par d'autres méthodes de cuisson (Sundararajan *et al.*, 1999). La combustion incomplète du bois durant le fumage conduit à des teneurs élevées en HAP (Conde *et al.*, 2005 ; García-Falcón et Simal-Gándara, 2005 ; Gomes *et al.*, 2013 ; Hitzel *et al.*, 2013).

Il a été démontré que les HAP dans les aliments grillés étaient dus à la pyrolyse des matières grasses sur le foyer ardent, puis étaient transportés par la fumée et redéposés sur la viande (Lijinsky et Shubik, 1965). Par ailleurs, la teneur en HAP est proportionnellement liée à la teneur en lipides : les produits plus gras grillés étaient plus contaminés par les HAP que la viande maigre (Lijinsky et Ross, 1967 ; Doremire *et al.*, 1979).

Les travaux de Lijinsky et Ross (1967) ont montré que la teneur en HAP était liée à la température du traitement (durée d'exposition, proximité du foyer). Ils ont également montré que si la fonte des matières grasses sur le foyer était évitée, comme l'utilisation d'un grill électrique, aucun HAP cancérigène n'était détecté dans le produit fini.

La composition et la concentration des HAP qui peuvent contaminer les produits fumés à base de viande dépendent de multiples facteurs : le type de bois, sa teneur en humidité, la température atteinte lors de la combustion, la concentration d'oxygène dans la chambre de combustion, la température associée à la génération de fumée, la durée du traitement, la teneur en lipides, l'espace entre le foyer et la viande, etc. (Larsson, 1982 ; García-Falcón et Simal-Gándara, 2005 ; Stumpe-Vīksna *et al.*, 2008 ; Pöhlmann *et al.*, 2012 ; Hitzel, *et al.*, 2013).

#### b) Voies d'entrée dans l'organisme

L'homme peut absorber les HAP par trois voies : par voie digestive, en ingérant des aliments qui en contiennent ; par voie respiratoire, en inhalant des poussières qui en contiennent ; par voie cutanée, en touchant des matériaux qui en contiennent.

Il est évident que le régime alimentaire contribue de manière substantielle à l'exposition non professionnelle aux HAP. Pour les non-fumeurs, plus de 70% de l'exposition

est attribuable à l'alimentation (Phillips, 1999 ; CE, 2002 ; Moret et Conte, 2002 ; Stolyhwo et Sikorski, 2005 ; Suchanová *et al.*, 2008 ; Alomirah *et al.*, 2011). En raison de leur omniprésence, les HAP peuvent entrer dans notre chaîne alimentaire, en particulier par l'intermédiaire de l'air (par dépôt), du sol (par transfert) ou de l'eau (par dépôt et transfert) (Troche *et al.*, 2000 ; Park *et al.*, 2002 ; Šimko, 2002 ; Falco *et al.*, 2003 ; Guillen et Sopelana, 2003 ; Yusty et Davina, 2005 ; Wenzl *et al.*, 2006 ; Tfouni *et al.*, 2007 ; CAC/RCP 68/2009). La présence de HAP dans les aliments peut résulter de leur absorption dans un environnement contaminé ou du mode de cuisson et de transformation des aliments, du type de combustible (charbon, bois, fumier, diesel, propane) (Lo et Sandi, 1978 ; Guillen *et al.* 1997 ; Phillips, 1999, OMS, 2000 ; Troche *et al.*, 2000), des conditions de production de la fumée, de la nature du bois, de la température de pyrolyse et de la teneur en lipides du produit (Tilgner, 1977 ; Doremire *et al.*, 1979 ; Toth et Potthast, 1984 ; Maga, 1988 ; Vaessen *et al.*, 1988).

Dans les pays de l'union européenne, ce sont les produits de la pêche et les produits céréaliers qui contribuent le plus à l'absorption quotidienne de HAP. Bien que les teneurs en HAP soient modérées dans les céréales, ces dernières sont consommées en grandes quantités (Tuominen, 1988 ; Ciemniak et Chrachol, 2007). Une personne à l'alimentation équilibrée ingère en moyenne 235 ng/j de benzo(a)pyrène, mais ce chiffre peut doubler chez une personne consommant des quantités particulièrement élevées de céréales et de poisson. En revanche, l'absorption de B(a)P par le biais de l'eau est insignifiante, puisqu'elle se chiffre à quelques 2 ng/j (Alexander *et al.*, 2008).

Les HAP que l'on respire proviennent essentiellement des gaz d'échappement puis de la fumée du tabac. Une personne fumant 20 cigarettes/jour absorbe en moyenne 105 ng/jour de benzo(a)pyrène et un fumeur passif 40 ng/jour (Alexander *et al.*, 2008). Les poêles qui tirent mal peuvent aussi augmenter le taux de HAP d'une pièce.

Enfin, les HAP peuvent aussi être absorbés par la peau (VanRooij *et al.*, 1993a ; 1993b ; Wester et Maibach, 2005). Par ailleurs, les HAP peuvent passer à travers la membrane utérine par le sang (Yang *et al.*, 1977 ; Hecht, 1999).

### c) Effets et mécanisme d'action

Les HAP sont des molécules génotoxiques puisqu'une fois absorbés par l'organisme, ils peuvent être activés par des enzymes qui leur permettent d'exercer leur pouvoir mutagène. Dans un premier temps, les étapes de fonctionnalisation, par l'intermédiaire d'enzymes (le cytochrome P450 et l'époxyde hydrolase) conduisent à la formation de composés extrêmement



toxiques, appelés époxydes. Les époxydes réagissent très facilement avec l'ADN, ce qui peut provoquer des erreurs dans la réplication de l'ADN et entraîner des mutations génétiques initiant le processus cancérigène (Janoszka *et al.*, 2004 ; Yoon *et al.*, 2007). Cependant, dans un second temps, une phase de détoxification des HAP conduit à la formation de composés conjugués qui seront ensuite éliminés par excrétion (voie urinaire ou biliaire).

Certains HAP peuvent également affecter la reproduction ou le développement fœtal. Le benzo(a)pyrène est particulièrement toxique sur ce plan, puisque ses effets cancérogènes sont prouvés pour l'homme et qu'on le considère aussi comme mutagène, tératogène et toxique pour le développement. L'ingestion d'aliments transformés et/ou cuits à haute température est connue pour induire des cancers (Guillen *et al.*, 1997 ; Zheng, 1998 ; Seow *et al.*, 2000 ; Larsson, 2006 ; Steck *et al.*, 2007 ; Aune *et al.*, 2009 ; Lam *et al.*, 2009 ; Alexander *et al.*, 2010a, 2010b ; Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013 ; Gibis, 2016).

d) Mesures de précaution

Plusieurs lois imposent de diminuer les HAP dans la mesure de ce qui est techniquement possible. Cependant, les inévitables doses résiduelles ne constituent pas un danger pour la santé.

Actuellement, à notre connaissance, il n'existe aucune loi ni norme malgaches qui permettent de limiter les concentrations en HAP présents dans les aliments, dans l'environnement et dans les produits de consommation. La loi de référence utilisée dans le cadre de ce travail est la loi CE n°835/2011. Elle fixe notamment la teneur maximale en benzo(a)pyrène dans les produits carnés à 2 µg/kg de viande depuis septembre 2014.

Les études menées par plusieurs auteurs ont montré que le fait de séparer la viande de la source de chaleur et d'éviter le chauffage excessif, ainsi que l'utilisation d'une viande moins grasse pour les produits grillés permettaient de réduire considérablement, voire d'empêcher la formation de B(a)P dans le produit (Grimmer et Hildebrandt, 1967 ; Toth & Blaas, 1973 ; Lintas *et al.*, 1979).

### **1.3 LES TECHNIQUES DE PREPARATION ET DE CONSERVATION DE LA VIANDE A MADAGASCAR**

#### **1.3.1 Les transformations traditionnelles**

Traditionnellement, les Malgaches ont mis au point plusieurs techniques de préparation et de conservation de la viande pendant une durée plus ou moins longue après l'abattage du bétail.

Une technique simple consiste à découper la viande en gros morceaux puis à disposer ceux-ci au-dessus du foyer pour obtenir de la viande boucanée ou fumée : hena asaly ou omby sira (viande macérée dans du sel).

Le jaka est une forme d'étrennes, constituée de viande coupée en morceaux et enfilée, pouvant être crue ou cuite.

La viande découpée en lanières assez minces et séchées au soleil est le kitoza connu en Imerina ou pike chez la population Tandroy (extrême sud) (Decary, 1930 ; Molet, 1978 ; Laurent, 1981). En pays Sakalava (ouest) et/ou Tsimihety (nord), on obtient le maskita qui correspond plus ou moins au kitoza par un procédé de séchage au soleil ou de l'âtre des lanières par fumage au feu (Raharolahy, 2004). Les Betsileo (sud) enroulent des lanières longues de quatre mètres autour d'une tige de bambou et les suspendent au plafond (Dubois, 1938). Pour le consommer, les Bara (sud) pilent le kitoza dans un mortier et la poudre est conservée dans une calebasse. Le kitoza est enfin le compagnon des voyageurs de longue distance, facile à emporter et à préparer sur un feu de fortune.

Le hena ritra ou viande sans jus ni sauce en fin de cuisson, est à la fois une technique de conservation et de préparation.

Le varanga mialintaona est la viande confite dans la graisse. Les morceaux sont cuits dans une grande marmite en fonte, sans sel, sur un feu doux pendant deux jours et une nuit. La cuisson est parfaite quand la graisse remonte à la surface et que la chair devient très tendre. La marmite est bien couverte pour ne laisser aucune rentrée d'air pouvant altérer le contenu. Les confits, sous réserve d'ébullitions périodiques, pouvaient se conserver non seulement d'une année à l'autre (hena mialintaona) mais pendant plusieurs années (Molet, 1982 ; Rasoarifetra, 2012). La viande effilochée frite est aussi appelée varanga et la viande conservée dans la graisse, du jaka, selon Laurent (1981).

En pays Sakalava et/ou Tsimihety, le maskita correspond plus ou moins au kitoza par un procédé de séchage au soleil ou par fumage au feu de l'âtre (Raharolahy 2004).

Le hena ritra ou borinjo chez les Sakalava se prépare comme le varanga : la viande est laissée mijotée pendant une nuit entière et une matinée en prenant soin de garder les morceaux intacts. Cette préparation ne se conserve pas très longtemps du fait que la marmite est souvent ouverte (Rasoarifetra, 2012).

Le mélange de la viande maigre ou hena mahia et de la viande grasse hena matavy est appelé hena vandana ou viande marbrée. Chez les Betsileo (Dubois, 1938), la viande une fois cuite et la graisse enlevée, les morceaux sont séchés et conservés dans des grands pots en terre dans lesquels on puise au besoin. Actuellement, il est d'usage de mélanger la viande de zébu avec celle de porc bien grasse, menu désigné couramment sur les Hautes Terres Centrales par vary be menaka ou assiette de riz gras.

Le hena masakevoka ou viande cuite à la chaleur est une pratique culinaire des groupes de population Antandroy et Mahafaly. Le zébu est tué à coups de sagaie et cuit en entier avec la peau sans avoir été vidé. La bouche de l'animal grande ouverte, calée par une pierre, est profondément enfoncée dans une fourmilière creusée recouverte d'un feu de branchages et de bois. La cuisson commence à prendre quand l'intérieur du zébu bouillonne, elle est à point dès que la peau, au toucher, s'enlève facilement.

Le hena misy fangarony ou viande avec accompagnement est la plupart du temps le mets consommé au quotidien. Il est très apprécié avec des herbes potagères et certains légumes ainsi que des grains secs (Domenichini et Rafolo, 2003). Enfin la viande peut être associée aux petites crevettes (hen'omby sy patsa), très riches en protéines ; elle est servie aux nouvelles accouchées ou aux convalescents. Chez les Antandroy, la viande destinée aux malades porte le nom de viande parfumée ou henamanitse. Pour l'ensemble de ces préparations, la viande est cuite en bouillie ou alai-ndro, en sauce (pas trop d'eau) ou en ketsaketsa (un peu de jus) et servie avec du riz bien sec (Rasoarifetra, 2012).

### **1.3.2 Le kitoza**

Le kitoza est une préparation à base de viande sous forme de lanières séchées au soleil ou fumées. Il possède une grande valeur culturelle dans la société malgache.

Autrefois, le kitoza était destiné aux nobles et à la royauté lors de l'inauguration de cérémonies visant à unifier le royaume (« fandroana »). Le morceau de viande destiné à sa

préparation était la culotte qui était l'apanage des souverains. Lors de la cérémonie du fandroana, il était d'usage de manger du vary sosoa (riz en bouillon) avec du kitoza nialin-taona qui était de la viande conservée depuis le fandroana de l'année d'avant (Ramamonjisoa, 2001 ; Rasoarifetra, 2012).

Il est recommandé de donner aux femmes qui viennent d'accoucher du kitoza (*kitozan'ny mpifana*) et du *rom-patsa* (littéralement « bouillon-de-crevette ») avec du vary sosoa. Chaque visiteur amène un rom-patsa qui est une corbeille renfermant des crevettes rouges et du riz. Chaque visiteur se verra offrir en échange un petit morceau de ce kitoza symbolisant le partage (Rasoarifetra, 2012 ; Razanamandimby, 2013). De par ses vertus (goût, fortifiant), le kitoza était également destiné aux malades et aux convalescents.

De nos jours, le kitoza est un mets apprécié par tous les ménages malgaches.

Pour marquer son importance, le kitoza fait même l'objet de proverbes et de citations tels que le kitozan-kabary signifiant un long discours, kitozan'ady se traduisant par des luttes sans fin. Des proverbes illustrant l'aspect et l'utilisation du kitoza sont : « Ny kitoza no tsara mihantona, fa ny teny tsy tsara mihantona » (Il est bon de suspendre le kitoza mais non pas les querelles) c'est-à-dire qu'avec le temps les querelles ne font que s'envenimer. « Mody lesoka, hihinana ny kitozan' ny marary » (Ne faites pas semblant de vous trouver mal pour manger le kitoza réservé aux malades) se disait des gourmands, et aussi de ceux qui s'emparaient par ruse des biens des autres.

Pourtant, les données sur le kitoza retrouvées dans la littérature sont très minces et ne concernent que le mode de préparation et de consommation.

### **1.3.3 Evolution de l'industrie de la production de viande**

Les besoins alimentaires d'un pays sont proportionnellement liés à la démographie. Le contexte socio-économique de l'évolution de l'industrie est lié à l'augmentation de l'effectif de la population surtout à l'urbanisation ainsi qu'avec le changement des habitudes alimentaires. Actuellement, la demande des consommateurs est de plus en plus élevée et plus stricte pour des produits de qualité. Cette préférence croissante des consommateurs pour les produits carnés transformés a permis la création de nouveaux marchés. Le développement de nouveaux produits est nécessaire pour compenser une demande croissante des consommateurs ainsi que l'augmentation de la disponibilité des produits alimentaires en concurrence. Le succès d'un produit alimentaire dépend de son acceptation par le consommateur qui est l'utilisateur ou un

utilisateur potentiel du produit et qui pourrait l'acheter (Moskowitz, 1985). C'est ainsi que les produits carnés transformés sont développés, produits et commercialisés afin de plaire aux consommateurs.

La consommation du kitoza a actuellement augmenté grâce à sa disponibilité sur le marché local et la facilité de sa préparation : dans les ménages, les boucheries/charcuteries, les snacks, les gargotes, les restaurants etc.

De par la place importante du kitoza et grâce à l'évolution de la technologie des aliments, certains producteurs ont décidé de fabriquer du kitoza en apportant des innovations. De l'utilisation empirique, le kitoza est aujourd'hui un produit de salaison trouvé dans les charcuteries modernes. Des investissements ont été consentis non seulement pour multiplier les points de vente mais aussi pour atteindre un nombre plus élevé et divers types de consommateurs (étrangers, personnes à revenu modeste,...). Pourtant, le fait de n'utiliser qu'une petite partie de la carcasse de l'animal lors du procédé, pourrait représenter une certaine difficulté pour l'essor de l'industrie du kitoza.

#### **1.4 TRAVAUX ANTERIEURS SUR LE KITOZA**

Les renseignements obtenus sur le kitoza nous sont parvenus de bouche à oreille, ou ont été prélevés dans la littérature assez mince portant surtout sur sa valeur culturelle et les modes de préparation (Laurent, 1981 ; Molet, 1982 ; Raharolahy, 2004 ; Rasoarifetra, 2012). Les données récentes sur le kitoza sont les résultats d'études effectuées entre Mars 2011 et Juin 2012 dans le cadre du projet After et présentés dans des mémoires de DEA (Andriamampianina, 2012 ; Andrianarison, 2012 ; Andriantahiana, 2012 ; Ratsimba, 2012). Ils sont synthétisés ci-après :

Le kitoza est élaboré à partir de viande tendre de bœuf ou de porc. Le morceau choisi est le filet ou la tranche fine pour le bœuf et le jambon ou le filet pour le porc. Il existe d'après les enquêtes deux types de kitoza selon le procédé de fabrication : le kitoza séché au soleil ou dans une pièce aérée et le kitoza fumé artisanalement dans un fumoir à foyer direct ou fumé au-dessus du feu de cuisine jusqu'à consommation totale. Le kitoza peut être conservé suspendu sur un fil, généralement au-dessus d'un feu de cuisine. Sa durée de conservation peut aller de quelques semaines à quelques mois (Laurent, 1981). Physiquement et économiquement, les ménages malgaches, notamment les ménages ruraux, ont une grande difficulté d'accès aux protéines animales autres que le poisson. Le kitoza représente donc un moyen de survie.

Les différentes étapes dans la fabrication du kitoza sont le lavage, la découpe en lanières, le salage, le séchage et le fumage (voir figure 2, p. 27).

La viande est découpée perpendiculairement aux fibres en lanières de 20 à 50 cm de long sur 2 à 3 cm d'épaisseur. Le sel et d'autres ingrédients facultatifs tels que l'ail, le poivre, le gingembre,... sont ajoutés au kitoza. La quantité des ingrédients ajoutée n'est pas contrôlée mais régie par l'habitude et l'expérience de chacun.

La fabrication industrielle du kitoza est la même que celle effectuée à l'échelle familiale (figure 2, p. 27) à une différence près : les producteurs ne font pas de séchage mais vendent directement du kitoza fumé. Les consommateurs peuvent acheter des lanières de viande préparées auprès des bouchers ou de la viande qu'ils découpent eux-mêmes ou encore acheter directement du kitoza fumé prêt à consommer. Ils consomment leur kitoza rapidement après achat mais ceux qui possèdent des réfrigérateurs peuvent conserver le produit. En zone rurale, le produit doit avoir une meilleure aptitude à la conservation le plus souvent à température ambiante. Le kitoza est séché jusqu'à consommation, voire fumé quand la conservation se fait au-dessus d'un feu de bois. Les kitoza salés/séchés et salés/fumés trouvés en zone rurale sont donc produits uniquement au niveau des ménages pour leur propre consommation.

Pour les producteurs et les revendeurs, les attributs de qualité du kitoza qui ressortent des enquêtes sont la couleur doré/marron, la tendreté, le goût fumé, la propreté de la boutique et la présentation du produit en sachet ou dans une vitrine tandis que pour les consommateurs, ce sont la couleur doré/marron et rouge, la tendreté, le goût de viande sèche (pour les kitoza salés/séchés), le goût fumé (pour les kitoza salés/fumés), et la propreté.

Chez les producteurs, le kitoza est fumé dans un fumoir avec du bois ou avec du charbon et des copeaux de bois. Les fumoirs utilisés sont faits en briques, en tôle ou en fût. Le kitoza fait maison est placé au-dessus du foyer et laissé fumer jusqu'à totale consommation. Le séchage est effectué au soleil ou dans une pièce aérée.

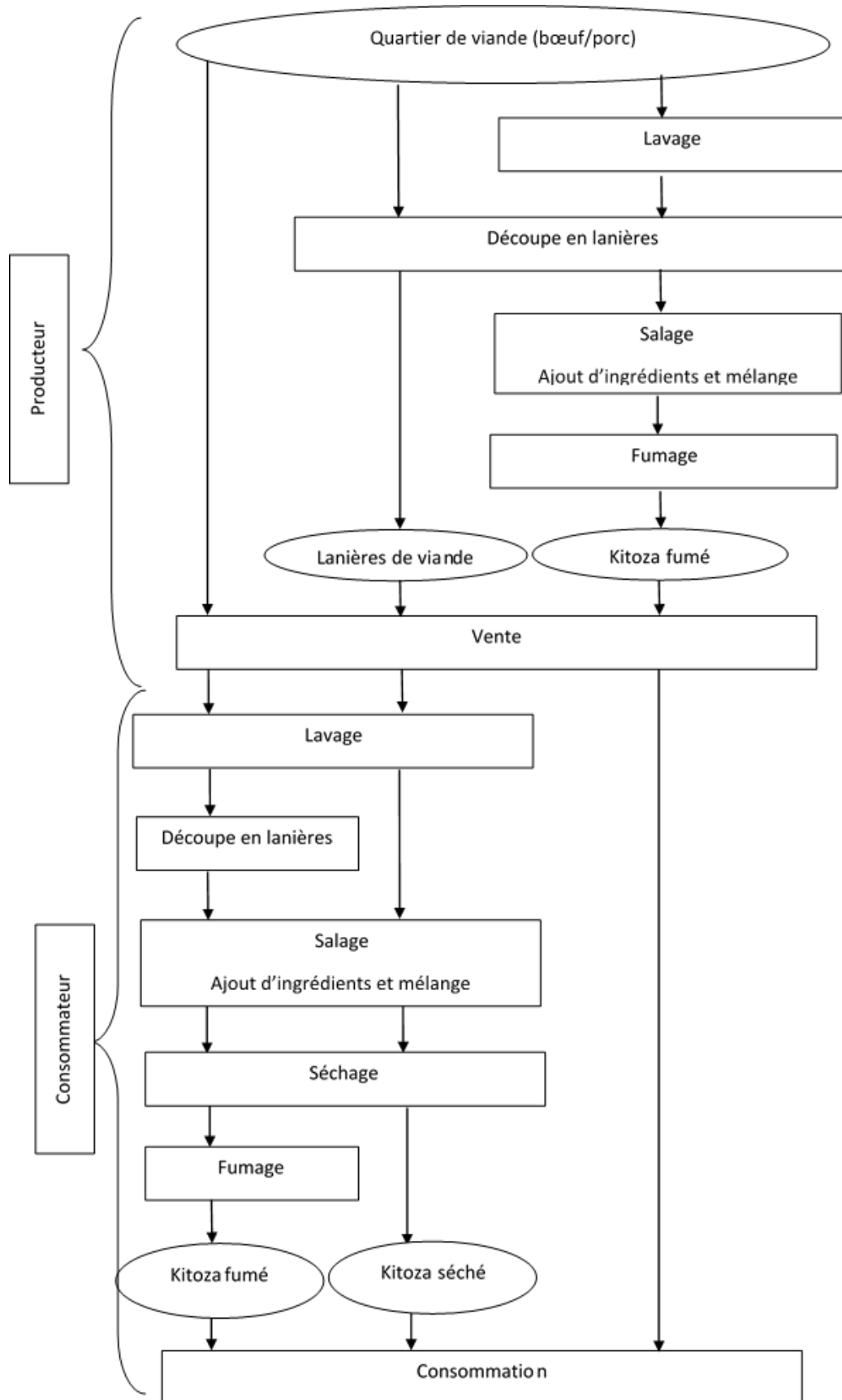


Figure 2 : Diagramme de fabrication du kitoza chez les producteurs et au niveau des ménages

En ce qui concerne les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques, le kitoza est classé parmi les aliments à humidité intermédiaire avec une teneur en eau et une activité de l'eau de 42 - 41% et 0,895 - 0,891 respectivement. Aucun germe pathogène n'a été identifié parmi les différents kitoza quels que soient la matière première (bœuf, porc) et le procédé (salé/séché, salé/fumé). Cependant, 13/60 échantillons (dont 12/28 échantillons de kitoza fumé) avaient des teneurs en benzo(a)pyrène supérieures aux normes européennes (2 µg/kg), le benzo(a)pyrène étant un indicateur de la contamination des aliments. Les caractéristiques physico-chimiques du produit traditionnel sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques du produit traditionnel

Paramètres		Kitoza de bœuf	Kitoza de porc
Teneur en lipides (g/100g)		10,5±5,5	18,1±9,8
Teneur en protéines (g/100g)		45,0±10,5	40,7±9,8
Teneur en eau (g/100g)		42±11,4	41,1±12,9
Teneur en sel (g/100g)		3,25±1,19	3,4±1,7
Aw		0,895±0,062	0,891±0,083
pH		5,79±0,22	6,29±0,47
Teneur en phénols (g/100g bs)	Fumés	4,83±3,49	7,04±4,74
	Séchés	0,52±0,76	0,65±0,51
Flore totale (log cfu/g)		7,4±1,0	9,3±1,0
<i>E. coli</i> (log cfu/g)		2,3±1,0 (n=11)	3,5±1,3 (n=18)
<i>Salmonella</i>		Absence	Absence

bs : base sèche

Généralement, le kitoza est consommé en accompagnement du vary sosoa (riz en bouillon) et du vary amin'anana (vary sosoa cuit avec des brèdes). Le kitoza est consommé frit,



grillé ou fumé et peut se rencontrer dans les gargotes et les charcuteries et se trouve ainsi à la portée de toutes les bourses. Il pourrait contribuer ainsi à l'amélioration des conditions de vie par consommation régulière de viande et par la vente de kitoza qui engendrerait une rentrée d'argent supplémentaire pour le ménage.

Des analyses sensorielles comprenant un test hédonique ont été effectuées pour connaître l'acceptabilité des produits par les consommateurs. D'après les résultats, le kitoza est un mets de choix apprécié autant par la population locale que les étrangers de toutes les tranches d'âge. Concernant le kitoza de bœuf, les consommateurs malgaches et européens ont une préférence pour l'odeur et le goût épicés, le goût sucré et les kitoza tendres alors qu'ils ont une aversion pour les kitoza trop fumés, fades, durs et élastiques et à texture fibreuse. Pour le kitoza de porc, en général, les kitoza qui sont durs, élastiques, avec un aspect et une texture fibreux ainsi qu'une couleur foncée ne sont pas prisés par la majorité des consommateurs malgaches. Ils préfèrent plutôt le kitoza de porc gras avec un aspect humide. Les consommateurs européens, quant à eux, apprécient les kitoza qui sont tendres, peu élastiques, peu grillés et peu fumés.

Au vu des résultats des analyses effectuées, bien que les contaminations microbienne (flore totale) et physico-chimique (benzo(a)pyrène) soient élevées pour certains échantillons, aucune maladie liée à la consommation de kitoza quels qu'en soient le type et la technologie utilisée, n'a été rapportée en milieu rural ou dénoncée par la médecine moderne.

Afin d'améliorer le produit, de diversifier la consommation et d'étendre le marché local, la réingénierie est envisagée. Dans la même foulée, le but à long terme étant de pouvoir exporter le kitoza, le respect des lois et des normes européennes est de mise pour rassurer les exportateurs et partant les consommateurs étrangers, en particulier européens.

Les résultats que nous avons obtenus constituent un point de départ pour une étude plus approfondie du kitoza.

# **CHAPITRE 2 :**

# **MATERIELS ET METHODES**

Plusieurs méthodes sont communes aux travaux rapportés dans les deux chapitres suivants. Aussi, avons-nous jugé plus commode de les regrouper dans ce chapitre.

## **2.1 MATÉRIELS**

### Matériel biologique :

Nous avons travaillé sur du kitoza fumé de porc et de bœuf. Pour l'évaluation des procédés, les kitoza ont été prélevés chez les producteurs visités. Lors de l'essai sur pilote de fumage à Montpellier, les kitoza ont été préparés à partir de jambon de porc acheté chez un boucher. La matière première utilisée lors de la réingénierie locale a été achetée auprès du producteur partenaire.

Pour l'identification des staphylocoques à coagulase négative, les échantillons utilisés étaient des produits finis de kitoza salés séchés et/ou fumés récoltés en 2011 chez des artisans producteurs ou des personnes réalisant une production familiale pour leur propre consommation situés en zone urbaine, périurbaine et rurale d'Antananarivo. Au total 54 échantillons ont été collectés qui se répartissent comme suit : 27 de kitoza de bœuf dont 13 fumés et 14 séchés, puis 27 de kitoza de porc dont 14 fumés et 13 séchés.

### Consommables :

Tous les réactifs sont de qualité pour analyse sauf ceux de la chromatographie qui doivent être de qualité HPLC.

### Milieux de culture :

Les milieux de culture solides sont issus des laboratoires AES labo (France) (Plate Count Agar, Trypton Bile agar, Gélose de Man, Rogosa, Sharpe, XLD, Hektoen, Kligler Hajna et urée indole) et Bio-Rad (France) (Mannitol Salt Agar)

Les milieux de culture liquides proviennent des laboratoires AES labo (France) (eau peptonée tamponnée, Rappaport Vasiliadis Soja) et Difco (USA) (Brain Heart infusion).

### Matériel pour l'essai sur pilote de fumage :

Le fumage a été effectué dans un four CAPIC 35 vertical de cuisson/fumage (France) (figures 3 et 4Figure, p. 31 et 32).



Figure 3 : Four vertical Capic 35

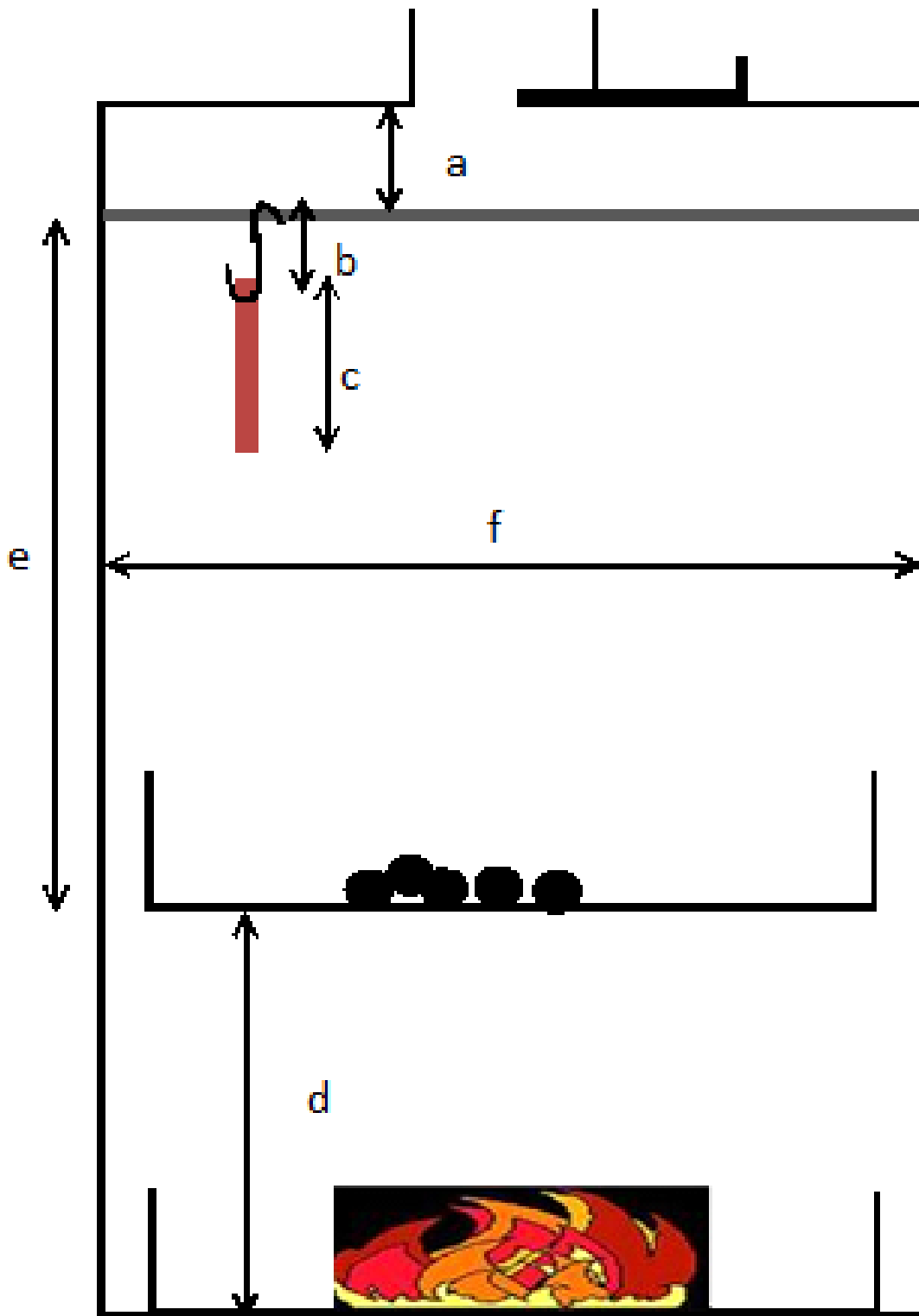


Figure 4 : Représentation schématique du four Capic 35  
(a = 20 cm, b = 11,5 cm, c = 15-30 cm, d = 75 cm, e = 97 cm, f = 80 cm)

## **2.2 METHODES**

### **2.2.1 Identification des opérations unitaires**

#### **2.2.1.1 Choix des producteurs**

Les producteurs ont été choisis à l'issue des enquêtes et compte tenu de leur collaboration lors de l'étude antérieure des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des kitoza finis ainsi que leur analyse sensorielle.

Une visite préliminaire a été organisée dans le but d'informer le producteur sur les objectifs du projet, de le convaincre sur la pertinence d'une étude scientifique qui devra être effectuée et de le rassurer sur le fait qu'aucune recette personnelle ne sera divulguée. Des rendez-vous ont ensuite été pris sur deux productions pour suivre les étapes de fabrication (pesée, prise de température) et collecter les échantillons.

Lors du suivi de la première production, la température de traitement a été mesurée avec un thermomètre (0-100°C) placé dans le fumoir près des crochets. Pour la seconde production, la température a été mesurée à l'aide d'une centrale d'acquisition (Almemo 2290-8, Holzkirchen, Allemagne). Trois sondes ont été utilisées. L'une a été placée à la surface d'une lanière (à 1 mm d'épaisseur). La seconde a été placée au milieu de la lanière pour mesurer la température à cœur, et la troisième a été placée à 10 cm en dessous des lanières pour mesurer la température dans le fumoir (température d'attaque).

Les documents d'enquête ainsi que le questionnaire des interviews des responsables de site et des ouvriers sont donnés en Annexe 3.

#### **2.2.1.2 Mode de prélèvement et préparation des échantillons**

Les prélèvements sont effectués à chaque étape de production afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des produits.

La quantité des échantillons prélevée à chaque étape est de 3 x 600 g (200 g pour les analyses microbiologiques, 150 g pour les analyses physico-chimiques à Madagascar, 250 g pour les analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire de l'UMR Qualisud de la Réunion). Les kitoza sont placés dans 3 sacs Stomacher et ramenés au laboratoire dans une glacière (environ 4°C). Les échantillons sont immédiatement découpés en dés d'environ 1cm<sup>3</sup>, mélangés et répartis dans des sacs de congélation.

Les analyses microbiologiques ainsi que la mesure de la teneur en eau sont réalisées dans les 24 h qui suivent la collecte sur 200 g de chaque échantillon. Le reste des échantillons est stocké à -20°C en attendant les analyses physico-chimiques qui sont effectuées à la Réunion.

### **2.2.2 Analyses physico-chimiques**

Les dés d'échantillons sont conservés à -20°C et amenés à la Réunion dans une glacière. La teneur en sel, l'acidité titrable, le pH et l'activité de l'eau ( $A_w$ ) sont déterminés immédiatement après un broyage préalable des échantillons au moyen d'un robot (Grindomix, Retsch, Allemagne). Le reste des échantillons est conservé à -20°C jusqu'à la réalisation des autres analyses (teneur en lipides, en protéines, en acides D- et L-lactiques, en glucose, en phénols, en hydrocarbures aromatiques polycycliques, indice TBARS).

Dans un premier temps, les analyses physico-chimiques comprennent des analyses nutritionnelles incluant la mesure de la teneur en lipides et en protéines. Ensuite, les analyses usuelles dans la viande sont effectuées.

#### **2.2.2.1 Mesure de la teneur en lipides**

Les lipides constituent une source majeure d'énergie facilement stockable par l'organisme.

Les lipides sont extraits selon la méthode de Folch (Folch *et al.*, 1957). Il s'agit d'une extraction liquide-liquide avec du chloroforme et du méthanol qui vise à extraire uniquement les lipides apolaires.

Une prise d'essai (PE) de 20 g de viande broyée et 100 ml de mélange de Folch (chloroforme/méthanol 2/1, v/v) sont mélangés pendant 1 h dans un erlenmeyer de 250 ml bouché. Le mélange est filtré sur un dispositif Büchner muni d'un filtre en fibres de verre GF/C (Whatman, Schleicher et Schuell, Angleterre). L'erien et le dispositif de filtration sont rincés avec 20 ml de mélange de Folch pour récupérer tous les résidus. Le filtrat est mélangé dans une ampoule à décanter avec 60 ml d'une solution acide de NaCl (9 g/l de NaCl et 0,01 N d'HCl). Après 7 h de décantation, la phase organique (inférieure) est prélevée, introduite dans un ballon préalablement taré ( $m_b$ ) qui est ensuite hermétiquement fermé. 40 ml de chloroforme sont ajoutés à la phase supérieure et le tout est agité dans l'ampoule puis laissé décanter pendant 16 h. La phase inférieure est ensuite prélevée et rajoutée dans le ballon. Enfin, le chloroforme est évaporé sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif (Laborata 4000, Heidolph, Allemagne)

jusqu'à ce qu'il ne reste plus que les lipides. Avant d'être pesé ( $m_{bl}$ ), le ballon est placé une nuit dans un dessiccateur pour éliminer totalement le chloroforme.

La teneur en lipides est calculée selon la formule suivante :

$$T_{\text{lipides}} = \frac{m_{bl} - m_b}{PE} \times 100$$

avec :

$T_{\text{lipides}}$  : teneur en lipides (g/100g)

$m_{bl}$  : masse du ballon + lipides (g)

$m_b$  : masse du ballon vide (g)

$PE$  : prise d'essai (g)

#### **2.2.2.2 Mesure de la teneur en protéines**

Vu l'importance des protéines dans la viande, le suivi de leur teneur est nécessaire.

La teneur en protéines est calculée selon la méthode de Kjeldhal (Kjeldahl, 1883 ; AFNOR, 2002). La teneur en azote total est déterminée puis la valeur obtenue est multipliée par le facteur de conversion 6,25.

Le produit est minéralisé par chauffage avec de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) concentré en présence d'un catalyseur. L'azote organique est transformé en azote minéral sous forme ammoniacale  $(NH_4)_2SO_4$ . Il s'ensuit une alcalinisation des produits de la réaction. L'ammoniac libéré est recueilli dans une solution d'acide borique, puis titré par une solution d'acide sulfurique.

L'échantillon (1 g), un comprimé de catalyseur ( $K_2SO_4$ ), 12,5 ml d'acide sulfurique et 2,5 ml d'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) sont introduits dans un matras de digestion. Le bloc de digestion (Büchi K-424, Büchi Labortechnik AG, France) est mis à chauffer à 400°C et la minéralisation est terminée quand la solution est devenue limpide.

Le minéralisat est distillé (UDK 132, Velp Scientifica, Italie) puis récupéré dans un erlen contenant 25 ml d'acide borique à 4 % et 4 gouttes d'indicateur coloré (réactif de Tashiro).

Le distillat est ensuite titré avec de l'HCl 0,1 N. L'écoulement est arrêté au virage de la solution en rose-violet.

La teneur en azote total est calculée selon la formule suivante :

$$T_{\text{azote}} = \frac{V \times T \times M}{PE \times 1000} \times 100$$



avec :

$T_{azote}$  : teneur en azote total (g/100g)

$V$  : volume de la solution de HCl (ml)

$T$  : concentration de la solution de HCl (N)

$M$  : masse molaire de l'azote (14 g/mol)

$PE$  : prise d'essai (g)

La teneur en protéines totales est obtenue par multiplication du pourcentage de l'azote total par le coefficient de conversion 6,25 :

$$T_{\text{protéines}} = T_{\text{azote}} \times 6,25$$

avec :

$T_{\text{protéines}}$  : teneur en protéines (g/100g)

$T_{\text{azote}}$  : teneur en azote total (g/100g)

La détermination de la teneur en protéines est réalisée en double pour chaque échantillon.

### **2.2.2.3 Mesure de la teneur en eau**

La teneur en eau est déterminée selon le standard NF V04-401 (AFNOR, 1968). La méthode consiste à étuver l'échantillon à 103°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La teneur en eau est obtenue par différence de pesée entre la matière fraîche et la matière sèche.

Pour chaque échantillon, une coupelle en aluminium est introduite dans l'étuve à 103°C pendant une nuit puis laissée refroidir dans un dessiccateur. La coupelle vide est pesée ( $m_0$ ) puis sans tarer la balance, l'échantillon broyé est ajouté jusqu'à l'obtention d'un poids de 10g ( $m_1$  : masse coupelle + échantillon). La coupelle est ensuite placée à l'étuve à 103°C pendant 24 h. A la sortie de l'étuve, elle est introduite dans un dessiccateur pour éviter toute reprise d'humidité lors du refroidissement, puis pesée ( $m_2$ ).

La teneur en eau est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$T_{\text{eau}} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_1 - m_0}$$

avec :

$T_{\text{eau}}$  : teneur en eau (g/100g)

$m_0$  : masse de la coupelle vide (g)

$m_1$  : masse de la coupelle avec l'échantillon avant étuvage (g)

$m_2$  : masse de la coupelle avec l'échantillon après étuvage (g)

#### **2.2.2.4 Mesure de la teneur en sel**

La teneur en sel est déterminée par dosage des ions chlorure après extraction de ces derniers avec de l'acide nitrique.

A environ 0,3 g (PE) d'échantillon broyé sont ajoutés 50 ml d'acide nitrique 0,3 N. Le mélange est placé sous agitation horizontale à température ambiante pendant 2 h au minimum puis laissé au repos pendant 1 h pour permettre la décantation des particules en suspension. La concentration en ions chlorure est mesurée avec un chloruremètre (Corning 926, Sherwood Scientific, Royaume-Uni). Avant la mesure, 500 µl de la solution sont versés dans le récipient contenant une solution tampon.

La teneur en sel de l'échantillon est calculée selon l'équation suivante

$$T_{\text{sel}} = \frac{1,648 \times 10^{-4} \times x \times V}{PE}$$

avec :

$T_{\text{sel}}$  : teneur en sel (g/100g)

$x$  : valeur lue sur le chloruremètre (mg Cl<sup>-</sup>/l)

$V$  : volume de la solution d'acide nitrique utilisée pour l'extraction (ml)

$PE$  : prise d'essai (g)

#### **2.2.2.5 Mesure de l'activité en eau**

L'activité de l'eau ( $A_w$ ) représente la quantité d'eau libre contenue dans un aliment qui permet des réactions chimiques, biochimiques, un changement d'état ou un développement de microorganismes. Elle est directement assimilée à la sensibilité d'un aliment à la dégradation ou à la conservation. L' $A_w$  d'un produit constitue une limite critique fixée dans le processus de fabrication d'un produit de viande. La valeur de l'activité de l'eau varie entre 0 (produit sec dans lequel toute l'eau est liée à l'aliment, et donc sans qualité réactive) et 1 (eau pure et sans soluté, difficile à atteindre et surtout à maintenir)<sup>1</sup>.

L' $A_w$  d'un corps est le rapport entre la pression de vapeur d'eau  $P$  au-dessus de la surface de celui-ci et la pression de vapeur d'eau  $P_o$  de l'eau pure soit :  $A_w = P/P_o$ .

L' $A_w$  est mesurée à 25°C avec un Awmètre (FAST-lab, GBX, France). L'échantillon est placé dans une coupelle sèche remplie au  $\frac{3}{4}$ .

<sup>1</sup> <http://genie-alimentaire.com> 04/03/16

### **2.2.2.6 Mesure du pH et de l'acidité titrable**

Le pH est le nombre d'ions hydrogène ( $H^+$ ) se trouvant dans la solution à mesurer. Il indique le degré d'acidité dans une solution aqueuse. L'acidité titrable est la quantité totale d'acides dans une solution titrée en utilisant une solution standard de NaOH. Le pH et l'acidité titrable sont mesurés à l'aide d'un titrateur automatique (TitroLine® easy, SI Analytics GmbH, Allemagne).

Environ 3 g d'échantillon broyé (PE) sont mis en solution dans 27 ml d'eau distillée dans un pot à échantillon de 40 ml. Le mélange est agité 30 min sur un agitateur magnétique.

Le pH de la viande est noté puis l'acidité titrable est mesurée en utilisant une solution de soude 0,05 N jusqu'au point final pH 8,3.

Le volume de soude versé permet de calculer l'acidité titrable selon la formule :

$$AT = \frac{V_{NaOH} \times C_{NaOH} \times 100}{PE}$$

avec :

$AT$  : acidité titrable (meq/100g)

$V_{NaOH}$  : volume de soude versé (ml)

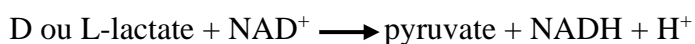
$C_{NaOH}$  : concentration de la solution de soude utilisée (mol/l)

$PE$  : prise d'essai (g)

### **2.2.2.7 Mesure des teneurs en acides D- et L- lactiques**

La teneur des isomères L et D de l'acide lactique permet de mesurer le degré de fermentation d'un produit biologique. Si la teneur de l'isomère L est élevée, le produit est fermenté tandis que la présence de l'isomère D indique la dégradation du glycogène.

Après une précipitation des protéines par la méthode de Carrez, le dosage des acides D et L lactiques est réalisé à l'aide de kits enzymatiques (Enzytec™, SCIL Diagnostics GmbH, Allemagne) en dosant par spectrophotométrie le NADH produit selon la réaction catalysée par l'enzyme D-LDH (lactate déshydrogénase) et L-LDH respectivement, pour les dosages des acides D- et L-lactiques :



Extraction de Carrez

Environ 2,5 g de viande broyée (PE), 30 ml d'eau distillée, 2,5 ml de la solution de Carrez I ( $\text{C}_6\text{FeK}_4\text{N}_6$  3,6% p/v,  $3\text{H}_2\text{O}$ ) et 2,5 ml de la solution de Carrez II ( $\text{ZnSO}_4$  7,2% p/v,  $7\text{H}_2\text{O}$ ) sont introduits successivement dans une fiole jaugée de 50 ml. 5 ml de soude 0,1 N sont ajoutés pour obtenir un pH entre 8 et 8,5. La solution est agitée après chaque ajout. Le volume de la solution est ajusté à 50 ml avec de l'eau distillée et le mélange ainsi obtenu est filtré sur du papier filtre (porosité  $\varnothing$  25  $\mu\text{m}$ ).

Dosage NADH

Les quantités des réactifs pour le dosage (protocole 1) sont indiquées dans le tableau 4. La densité optique (DO) est lue à 340 nm contre de l'eau distillée. Pour les échantillons en dessous du seuil de détection, le dosage est refait selon le protocole 2 du tableau 5.

Tableau 4 : Protocole 1 : Quantité de réactifs utilisés pour le dosage des acides D et L lactiques (seuil de détection = 0,025 g/l)

	Blanc	Standard	Echantillon
Echantillon	-	-	100 $\mu\text{l}$
Standard (0,15 g/l)	-	100 $\mu\text{l}$	-
Eau distillée	100 $\mu\text{l}$	-	-
Réactif 1 (tampon, enzyme)	2000 $\mu\text{l}$	2000 $\mu\text{l}$	2000 $\mu\text{l}$
Agiter puis après environ 3 min, lire l'absorbance A1 à 340 nm			
Réactif 2 (NAD)	500 $\mu\text{l}$	500 $\mu\text{l}$	500 $\mu\text{l}$
Agiter puis après environ 15 min, lire l'absorbance A2 à 340 nm			

Tableau 5 : Protocole 2 : Quantité de réactifs utilisés pour le dosage des acides D et L lactiques (seuil de détection = 0,007 g/l)

	Blanc	Echantillon
Echantillon	-	300 $\mu\text{l}$
Eau distillée	300 $\mu\text{l}$	-
Réactif 1 (tampon, enzyme)	1600 $\mu\text{l}$	1600 $\mu\text{l}$
Agiter puis après environ 3min, lire l'absorbance A1 à 340 nm		
Réactif 2 (NAD)	400 $\mu\text{l}$	400 $\mu\text{l}$
Agiter puis après environ 15 min, lire l'absorbance A2 à 340 nm		

La teneur en acide D ou L lactique de l'échantillon est calculée selon la formule :

$$T_{\text{acide D, L lactique}} = \frac{\Delta A \times V_{\text{cuve}} \times M_{\text{acide lactique}} \times V \times 100}{\varepsilon \times l \times 1000 \times V_{\text{échantillon}} \times PE}$$

avec :

$T_{\text{acide D, L lactique}}$  : Teneur en acide lactique (g/100g)

$\Delta A$  :  $(A_2 - A_1 \times df)_{\text{échantillon}} - (A_2 - A_1 \times df)_{\text{blanc}}$  avec  $df = 0,808$  (protocole 1) et  $0,826$  (protocole 2).

$V_{\text{cuve}}$  : volume de la cuve (ml) = 2,6 ml (protocole 1) ou 2,3 ml (protocole 2)

$M_{\text{acide lactique}}$  : masse molaire de l'acide lactique (90,1 g/mol)

$V$  : volume d'extraction (50 ml)

$\varepsilon$  : coefficient d'extinction molaire du NADH à 340 nm (6,3/mmole/cm)

$l$  : longueur du trajet optique (1 cm)

$V_{\text{échantillon}}$  : volume d'échantillon = 0,1 ml (protocole 1) ou 0,3 ml (protocole 2)

$PE$  : prise d'essai (g)

#### **2.2.2.8 Mesure de la teneur en phénols totaux**

Le dosage des phénols totaux permet de quantifier le degré de fumage du produit. En présence de ferrocyanure de potassium les phénols extraits dans l'éthanol développent une coloration spécifique avec l'amino-4-antipyrine en milieu alcalin. Les phénols sont extraits avec du chloroforme puis dosés par spectrophotométrie à 455 nm dans des cuves en quartz (AFNOR, 1996).

Environ 5 g de viande broyée (PE) et 35 ml d'éthanol sont introduits dans un tube à centrifuger. Le mélange est broyé à l'aide d'un broyeur de type polytron (PT2500, Kinematica AG, Suisse) puis laissé au repos 15 min avant d'être centrifugé à 2000 rpm pendant 10 min (Sigma 3-18K, Avanteo, Allemagne). Le surnageant est récupéré dans une fiole jaugée de 50 ml et le culot est repris dans 10 ml d'éthanol 95% puis vortexé. Le tout est centrifugé et l'extrait éthanolique est récupéré dans la même fiole. Le volume de la solution est ajusté à 50 ml avec de l'éthanol. Dans des ampoules à décanter, les extraits éthanoliques sont mélangés aux réactifs en agitant et en dégazant après chaque ajout (voir tableau 6, p. 41). Les mélanges sont laissés décanter pendant 30 min pour l'échantillon et 10 min pour la gamme étalon. La phase inférieure (chloroformée) contenant les phénols est filtrée sur sulfate de sodium anhydre et récupérée dans un flacon ambré ou protégé par un papier aluminium. La DO est lue à 455 nm dans des cuves en quartz contre du chloroforme.

Tableau 6 : Préparation des échantillons et de la gamme étalon pour le dosage des phénols totaux

	Echantillons	Gamme étalon				
Q phénols (µg) dans l'ampoule	-	0	5	10	20	30
Extrait éthanolique (ml)	5	-	-	-	-	-
Solution étalon de phénol (5mg/l) (ml)	-	0	1	2	4	6
Eau distillée (ml)	30	35	34	33	31	29
Aminoantipyrine 2% (ml)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ammoniaque 2N (ml)	2	2	2	2	2	2
Ferricyanure de potassium III 2% (ml)	2	2	2	2	2	2
Chloroforme (ml)	10	10	10	10	10	10

La droite d'étalonnage  $Q_{\text{phénols}} = f(DO)$ , d'équation  $Q_{\text{phénols}} = a DO + b$ , est tracée.

La teneur en phénols totaux des échantillons est calculée selon la formule suivante :

$$T_{\text{phénols}} = \frac{(a \times DO + b) \times 1.10^{-3} \times V_{\text{fiolle}} \times 100}{V_{\text{extrait alcoolique}} \times PE}$$

avec :

$T_{\text{phénols}}$  : teneur en phénols (mg/100g)

$DO$  : DO des échantillons (nm)

$a, b$  : pente et ordonnée à l'origine de la droite d'étalonnage

$V_{\text{fiolle}}$  : volume de la fiole (50 ml)

$V_{\text{extrait alcoolique}}$  : volume d'extrait éthanolique introduit dans l'ampoule à décanter (5 ml)

$PE$  : prise d'essai (g)

#### 2.2.2.9 Mesure de la teneur en HAP

L'étape de fumage peut conduire à une accumulation d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui sont des composés cancérigènes (voir synthèse bibliographique). Parmi eux, le benzo(a)pyrène (B(a)P) est un bon indicateur de contamination par des composés cancérigènes de produits à base de viande cuite et/ou fumée.

La détermination de la concentration en HAP consiste tout d'abord à les extraire avec du cyclohexane. L'extrait obtenu est concentré et analysé sur HPLC. Les HAP analysés sont le benzo[a]pyrène (B(a)P), le benzo[a]anthracène (B(a)A), le benzo[b]fluoranthène (B(b)F) et le chrysène (Ch). La concentration des HAP est déterminée par comparaison des surfaces chromatographiques obtenues à un temps de rétention donné entre l'échantillon et celles de chacun des étalons de HAP.

L'équipement HPLC doit comprendre :

- Des réservoirs des solvants A et B utilisés pour la phase mobile : 60% d'acétonitrile dans de l'eau (A) et 100% acétonitrile (B)
- Une pompe à gradient HPG (high pressure gradient) réglée à un débit de 1 ml/min et le gradient suivant : 0–5 min, 100% A; 5–40 min, 100% A-100% B; 40-45 min, 100% B; 45-50 min, 100% B-100% A, 50-60 min, 100% A
- Une colonne analytique avec des particules de 5  $\mu$ m, 25 cm de longueur et 4,6 mm de diamètre
- Un injecteur composé d'une boucle de 10  $\mu$ l
- Un four à colonne pouvant maintenir la température de 30°C
- Un détecteur fluorimètre capable de changer de longueur d'ondes en cours de gradient. Pour la détection des quatre HAP, les longueurs d'ondes d'excitation et d'émission sont paramétrées comme indiqué dans le tableau 7 et suivi d'un « auto zéro » pour la ligne de base.
- Un logiciel de pilotage et de retraitement des données chromatographiques (Chromeleon 6.80, Dionex, USA).

Tableau 7 : Temps de rétention et longueurs d'onde d'excitation des HAP

HAP	Temps de rétention (min)	$\lambda$ excitation (nm)	$\lambda$ émission (nm)
B(a)A	0-29	270	385
Ch			
B(b)F	29-34	270	420
B(a)P	34-60	381	405

A partir de solutions étalons de HAP (B(a)P, B(a)A, B(b)F, Ch) à 200 µg/ml sont préparées des solutions standard dans du chlorure de méthylène en ampoule de 1 ml.

Une solution S1 d'un mélange de ces 4 étalons à 10 µg/ml de chaque HAP est préparée : 250 µl de B(a)P + 250 µl de B(a)A + 250 µl de B(b)F + 250 µl de Ch + 4 ml d'acétonitrile. Une solution S2 à 200 ng/ml est préparée en prélevant 100 µl de la solution S1 et en ajoutant 4,9 ml d'acétonitrile. A partir de la solution S2, une gamme étalon est préparée comme suit :

Tableau 8 : Composition de la gamme étalon de HAP

	Volume de la solution S2	Volume d'acétonitrile (µl)
S3 40 ng/ml	200	800
S4 20 ng/ml	100	900
S5 8 ng/ml	40	960
S6 4 ng/ml	20	980
S7 2 ng/ml	20	1880

L'identification et la quantification sont réalisées à partir de la gamme étalon après l'injection des solutions S3 à S7.

#### Saponification :

Le broyat (PE = 1 g) est placé dans un flacon en verre mélangé à 3 ml de potasse éthanolique 1 M. Le tube bouché est placé dans un bain-marie à 80°C sous agitation magnétique pendant 30 min.

#### Extraction liquide-liquide des HAP :

Dans le flacon précédent, 3 ml de cyclohexane sont ajoutés puis le mélange est vortexé. Le tube est replacé au bain-marie à 80°C sous agitation magnétique pendant 5 min. Puis 2 ml d'eau ultrapure sont ajoutés. Une centrifugation à 3000 rpm pendant 5 min est effectuée, puis la phase organique (cyclohexane+HAP) est prélevée avec précaution dans un tube en verre à l'aide d'une pipette Pasteur. Pour cela, 1 mm de la phase organique est laissé afin de ne pas récupérer de phase aqueuse. Une étape de nettoyage est réalisée pour récupérer le maximum de HAP. Par deux fois, 2 ml de cyclohexane sont ajoutés dans le tube de saponification, le mélange est vortexé puis centrifugé 5 min à 3000 rpm. Le surnageant est chaque fois récupéré. Les



surageants sont rassemblés puis évaporés à sec à 40°C sous flux d'azote. 1 ml d'acétonitrile est ajouté dans l'extrait sec, le mélange est vortexé puis filtré dans un vial HPLC à l'aide d'une seringue munie d'un filtre PTFE 0,2 µm.

Détermination de la teneur en HAP par HPLC :

Les temps de rétention des composés sont relevés sur les chromatogrammes des solutions étalons sachant que l'ordre des pics est respectivement le suivant : B(a)A, CH, B(b)F et B(a)P.

Les HAP contenus dans l'échantillon sont identifiés en comparant leurs temps de rétention avec ceux des solutions étalons.

Les différentes aires des solutions étalons (S3 à S7) sont relevées pour établir une droite d'étalonnage en portant les valeurs des aires de pic obtenues en fonction de la concentration des solutions et ceci pour chaque composé.

La droite d'étalonnage  $C = f(A_e)$  d'équation :  $C = a \cdot A_e + b$ , est tracée.

La quantité  $Q_{HAP}$  est exprimée sous la forme suivante :

$$Q_{HAP} = \frac{(a \cdot A_e + b) \cdot V}{m}$$

avec :

$Q_{HAP}$  : teneur en HAP en µg/kg (ppb)

$a, b$  : pente et ordonnée à l'origine de la droite d'étalonnage

$A_e$  : aire du pic chromatographique du HAP considéré

$V$  : volume de prise d'essai de l'extrait sec par l'acétonitrile (ml)

$m$  : masse de l'échantillon analysé (g)

**2.2.2.10 Mesure de l'indice TBARS**

L'oxydation lipidique est l'une des causes principales de la détérioration de la qualité de la viande. L'ampleur de cette oxydation est évaluée avec la mesure de l'indice TBARS (2-thiobarbituric acid-reactive substances).

Les composés carbonylés à l'instar du malondialdéhyde (MDA) réagissent avec l'acide thiobarbiturique (TBA) pour donner des chromophores de couleur rose absorbant à 532 nm.

L'échantillon pesant 1 g (PE) est broyé avec 100 µl de butylhydroxytoluène (BHT) et 9,9 ml de KCl 0,15 M à l'aide d'un broyeur de type polytron (PT2500, Kinematica AG, Suisse).

0,5 ml de broyat est vortexé avec 0,25 ml de TBA 1% (acide thiobarbiturique, p/v) dans NaOH 1 mM et 0,25 ml de TCA 2,8% (acide trichloroacétique, p/v) et incubé pendant 10 min à 80°C. Après refroidissement dans un bain de glace pendant 15 min, 2 ml de n-butanol sont ajoutés. Le tube est vortexé pendant 30 s et centrifugé à 4000 rpm pendant 10 min à 4°C. Le surnageant est transféré dans des cuves à spectrophotométrie et l'absorbance est lue à 535 nm contre du butanol pur.

La gamme d'étalonnage est préparée à partir d'une solution de TMP (1,1,3,3-tétraméthoxypropane)  $6.10^{-4}M$ . Les dilutions de TMP sont réalisées directement dans les tubes à centrifugation (tableau 9). Après chauffage, le TMP se transforme en MDA.

Tableau 9 : Composition de la gamme étalon pour la détermination de l'indice TBARS

[TMP] ou [MDA] (μM)	0	6	12	18	24	36
TMP $6.10^{-4}M(\mu l)$	0	5	10	15	20	30
KCl (μl)	500	495	490	485	480	470

La droite d'étalonnage  $DO = f([MDA])$ , d'équation  $DO_{535} = a [MDA] + b$  est tracée.

Les indices TBARS des échantillons sont calculés en utilisant la formule :

$$TBARS = \frac{\frac{DO-b}{a} \times MM_{MDA}}{100 \times PE}$$

avec :

*TBARS* : indice TBARS (mg/kg)

*DO* : DO des échantillons (nm)

*a, b* : pente et ordonnée à l'origine de la droite d'étalonnage

$MM_{MDA}$  : masse molaire du MDA (72 g/mol)

*PE* : prise d'essai

#### 2.2.2.11 Expression des valeurs en base sèche

Afin de mieux évaluer certains paramètres leurs valeurs sont exprimées en base sèche :

$$Tbs = \frac{Tbh \times 100}{100 - TE}$$

avec :

*Tbs* : teneur en base sèche (g/100g)

*Tbh* : teneur en humide (g/100g)

*TE* : teneur en eau (g/100g)

### 2.2.2.12 Détermination des transferts de matière

Différents paramètres sont calculés à chaque étape afin d'évaluer le transfert de matière.

- Rendement :

$$R = \frac{m_f}{m_i}$$

avec :

$R$  : rendement

$m_i$  : masse initiale

$m_f$  : masse finale

- Calcul de la perte en poids :

$$PP = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$$

avec :

$PP$  : perte en poids

$m_i$  : masse initiale

$m_f$  : masse finale

- Calcul des pertes

$$P = (T_i - T_f * R) * 100$$

avec :

$P$  : perte (kg/100kg)

$T_i$  : teneur initiale du paramètre considéré (g/100g)

$T_f$  : teneur finale du paramètre considéré (g/100g)

$R$  : rendement

- Calcul des gains

$$G = (T_f * R - T_i) * 100$$

$G$  : gain (kg/100kg)

$T_i$  : teneur initiale du paramètre considéré (g/100g)

$T_f$  : teneur finale du paramètre considéré (g/100g)

$R$  : rendement

### **2.2.2.13 Valeur cuisatrice**

La valeur cuisatrice est la durée du traitement appliqué au cœur du produit à une température de référence de cuisson. La température de référence généralement indiquée dans la littérature est de 100°C. La valeur cuisatrice permet de quantifier l'effet du traitement sur la qualité du produit (Mekhtiche et Martin, 2002 ; Ohlsson, 1980). C'est un moyen de comparaison de différents barèmes de cuisson qui se calcule d'après la formule suivante :

$$VC = \int_0^{t_{fin}} 10^{\left(\frac{T-T_{ref}}{z}\right)} dt$$

avec :

VC : valeur cuisatrice (min)

z : facteur de réduction décimale (°C)

T : température à l'instant  $t$  (°C)

$T_{ref}$  : température de référence (°C)

$t$  : temps (min)

La valeur de  $z$  choisie est 25°C, généralement utilisée pour caractériser l'effet global de la cuisson, reflétant la dégradation thermique due à la cuisson, des qualités organoleptiques : couleur – notamment brunissement de Maillard, perte de texture, ou nutritionnelles : dégradation des vitamines.  $z$  correspond à l'augmentation de température nécessaire pour diviser la durée du traitement par 10 en obtenant le « même degré d'avancement » de réaction/transformation.

### **2.2.3 Analyses microbiologiques**

Les matériels utilisés sont préalablement stérilisés par autoclavage à 121°C pendant 30 min. Les manipulations sont effectuées sous une hotte à flux laminaire.

#### **2.2.3.1 Préparation de la solution mère et des dilutions**

Les dés d'échantillons (25 g) ont été broyés au stomacher (Star Blender <sup>TM</sup> LB 400 VWR, France) dans 225 ml d'eau peptonée tamponnée (AES labo, France) pendant 2 à 4 min. Le mélange, transvasé dans un flacon borosilicaté, est laissé au repos pendant 20 min pour la revivification des bactéries. La solution obtenue est appelée solution mère (SM) qui est la dilution  $D^0$ . Une série de dilutions décimales (1 ml dans 9 ml d'eau physiologique à 9‰) est réalisée à partir de SM. Au moyen d'une micropipette stérile, la dilution initiale est réalisée en

prélevant puis en transférant 1 ml de SM dans un tube contenant 9 ml d'eau physiologique stérile. A l'aide d'une nouvelle pipette stérile, 1 ml de la première dilution est transféré dans un autre tube. D'autres dilutions décimales sont ainsi préparées jusqu'à l'obtention du nombre de dilutions requis. Chaque tube de dilution est vortexé avant d'effectuer la dilution suivante (NF EN ISO 6887-1 : 1999 ; NF EN ISO 6887-2 : 2003).

### **2.2.3.2 Recherche et dénombrement des germes**

Certains germes contaminent spécifiquement la viande tels que *Clostridium*, *Listeria*, *Escherichia coli*... Les bactéries recherchées ici sont celles qui sont fréquemment détectées sur la viande et dont l'analyse peut être réalisée au laboratoire.

L'ensemencement en double se fait en profondeur. 1 ml de chacune des dilutions est versé dans des boîtes de Pétri puis 15 ml de milieu en surfusion sont coulés dans chacune des boîtes. Le milieu est homogénéisé à l'aide de mouvements circulaires. Les boîtes sont ensuite laissées sur la paillasse pour permettre la solidification du milieu, puis retournées pour éviter la condensation. Une fois le milieu solidifié, les boîtes sont placées dans l'étuve. La composition des milieux de culture est donnée en Annexe 4.

#### Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT) (NF EN ISO 4833 : 2003)

Le milieu utilisé est le milieu Plate Count Agar (PCA) (AES labo, France). L'incubation se fait à 30°C pendant 72 h. Toutes les bactéries (de taille, de couleur et de forme différentes) ayant poussé sur le milieu sont dénombrées en tant que FAMT.

#### Dénombrement d'*Escherichia coli* (NF ISO 16649-2 : 2001)

*E. coli* est ensemencé sur le milieu Trypton Bile agar (TBX) (AES labo, France). Les boîtes sont ensuite incubées à 44°C pendant 24 h. Les colonies caractéristiques d'*E.coli* sont colorées en bleu.

#### Dénombrement des bactéries lactiques (AFNOR, 1988)

L'ensemencement des bactéries lactiques se fait sur le milieu MRS (Gélose de Man, Rogosa, Sharpe) (AES labo, France). L'incubation est effectuée à 30°C pendant 72 h. Les bactéries lactiques se présentent sous forme de colonies rondes et bombées ou semi-bombées à l'intérieur de la gélose.

Dénombrement des staphylocoques à coagulase négative (ISO 6888-1)

Le dénombrement des staphylocoques se fait sur le milieu Mannitol Salt Agar (MSA) (Bio-Rad, France) après une incubation à 30°C pendant 48 h. Les colonies présumées de staphylocoques à coagulase négative collectées à partir du milieu MSA sont cultivées dans un bouillon cœur cerveau ou Brain Heart infusion (BHI) (Difco, USA) à 30°C toute une nuit. Elles sont ensuite stockées à -80°C dans du BHI contenant 20% de glycérol avant identification. Les colonies de staphylocoques à coagulase négative sont de couleur noire ou grise sans halo.

Le dénombrement et l'identification des staphylocoques à coagulase négative ont été effectués au laboratoire de microbiologie de l'INRA de Clermont Ferrand.

Recherche de *Salmonella* (ISO 6579 ; 2002)

- Recherche

Un pré-enrichissement non sélectif est d'abord effectué en incubant SM (voir §2.2.3.1, p. 47) à 37°C durant 16 à 20 h. Ensuite, comme SM permet aussi à d'autres bactéries de se développer, un enrichissement sélectif est réalisé en transférant en double 1 µl de la culture pré-enrichie dans des tubes contenant 10 ml du milieu liquide RVS (Rappaport Vasiliadis Soja) (AES labo, France). La culture est ensuite incubée à 42°C pendant 18 à 24 h. Les cultures (sous forme de trouble) dans les milieux RVS sont étalées à la surface de milieux sélectifs solides XLD et Hektoen (AES labo, France) par épuisement au moyen d'une anse de platine. Les boîtes sont retournées et incubées pendant 18 à 24 h à 37°C.

- Test de confirmation

A partir des colonies isolées, de couleur verte ou bleutée avec ou sans centre noir, des tests de confirmation doivent être effectués en utilisant les milieux Kligler Hajna et urée indole (AES labo, France).

Les colonies prélevées avec une oese sontensemencées par piqûre profonde du culot puis en stries le long de la pente de la gélose de Kligler-Hajna. L'incubation dure 18 à 24 h à 37°C. Les colonies typiques de *Salmonella* correspondent à une pente alcaline (rouge) et un culot acide (jaune), avec formation de gaz et dans environ 90% des cas, de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) se traduisant par un noircissement de la gélose. La pente de la gélose Kligler-Hajna est jaune s'il y a une réaction lactose positive.

Les colonies caractéristiques sontensemencées dans 0,5ml de milieu urée indole. L'incubation se fait à 37°C. S'il y a présence d'uréase, le milieu vire au rouge violacé. Après

18 à 24 h d'incubation, 4 à 5 gouttes de réactif de Kovacs sont versées dans le tube ensemencé. La présence d'indole est révélée par l'apparition d'une coloration rouge en forme d'anneau à la partie supérieure du milieu.

### 2.2.3.3 Méthode de calcul

Les colonies ayant poussé sur les boîtes de Pétri sont comptées. Les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies sont retenues et la concentration bactérienne est calculée selon la formule :

$$N = \frac{\Sigma a}{V(n_1 + 0,1n_2)d}$$

avec :

*Somme a* : somme des ufc (unités formant colonie) de toutes les boîtes retenues de 2 dilutions successives

*V* : volume inoculum ensemencé

*n1* : nb de boîtes à la 1<sup>ère</sup> dilution

*n2* : nb de boîtes à la 2<sup>ème</sup> dilution

*d* : facteur de dilution de la 1<sup>ère</sup> dilution retenue

Si la boîte de Pétri, au niveau de la première dilution choisie, présente moins de 15 colonies, la formule ci-dessous est adoptée :

$$N = \frac{\Sigma a}{V * n * d}$$

avec :

*Somme a* : somme des cfu de toutes les boîtes retenues de 2 dilutions successives

*V* : volume inoculum ensemencé

*n* : nb de boîtes retenues

*d* : facteur de dilution de la 1<sup>ère</sup> dilution retenue

Si un échantillon présente des charges inférieures au seuil de détection, la moyenne est calculée en utilisant pour cet échantillon une valeur égale au seuil de détection.

#### **2.2.3.4 Identification des staphylocoques à coagulase négative**

Tout d'abord, les isolats sont cultivés sur de la gélose BHI pendant 24 h à 30°C. Une colonie de chaque isolat est ensuite prélevée et amplifiée avec les amorces TstaG422 (5'-GGC CGT GTT GAA CGT GGT CAA ATC A-3') et Tstag765 (5'-TTA CCA TTT CAG TAC CTT CTG GTA A-3') provenant du gène *tuf* permettant l'identification du genre *Staphylococcus* selon la méthode décrite par Martineau *et al.* (2001).

Ensuite, les espèces des souches appartenant au genre *Staphylococcus* sont identifiées par la technique de « staph array » qui permet de cibler spécifiquement le gène *sodA* permettant l'identification de 36 espèces de SCN pouvant être retrouvées dans les aliments d'origine animale. L'identification au niveau de l'espèce se fait par des sondes oligonucléotidiques spécifiques (Giammarinaro *et al.*, 2005). Les amorces D1 (CCITAYICITAYGAYGCIYTIGARCC) et D2 (ARRTARTAIGCRTGYTCCCAIACRTC) sont utilisées pour amplifier le gène *sodA*. Le produit de la PCR est marqué avec de la digoxigénine, puis dénaturé par la chaleur et hybridé avec des sondes d'oligonucléotides spécifiques fixées sur une membrane en nylon. Les séquences hybridées sont détectées à l'aide du kit de détection de Dig colour (Roche, Meylan, France).

#### **2.2.3.5 Test de durée de conservation ou étude de la date limite de consommation (DLC)**

Des analyses microbiologiques ont été effectuées sur les produits finis afin de suivre l'évolution du nombre de bactéries au cours de leur conservation. Les échantillons de kitoza fumés sont conservés à température ambiante et à 4°C. Puis le jour de la récolte (J0), à J4 et J8, la flore totale, *E. coli* et les bactéries lactiques (voir Méthodes §2.2.3.2, p. 48) sont recherchés et dénombrés.

#### **2.2.4 Réingénierie**

Le but de la réingénierie est d'apporter des améliorations au produit final (physico-chimiques, microbiologiques, sensorielles, ...) en modifiant le procédé de fabrication par l'ajout, la séparation ou la suppression d'opération(s) unitaire(s).

Les cinétiques de température à cœur des lanières et d'attaque sont établies. Les teneurs en eau, en phénols et en B(a)P sont déterminées (voir § 2.2.2.3, 2.2.2.8, 2.2.2.9, p. 36, 40, 41) puis comparées avec celles du produit traditionnel.



### **2.2.5 Analyses sensorielles**

L'analyse sensorielle ou métrologie sensorielle représente l'ensemble des méthodes, outils et instruments qui permettent d'évaluer les qualités organoleptiques d'un produit, c'est-à-dire les caractéristiques faisant intervenir les organes des sens de l'être humain : le goût, l'odorat, la vue, le toucher et l'ouïe. Elle permet de mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité de produits alimentaires ainsi que de nombreux autres produits, autrement dit, de décrire et de quantifier de manière systématique l'ensemble des perceptions humaines (Lefebvre *et al* ; 2003). Les activités telles que la mise au point de nouveaux produits alimentaires, le changement des méthodes de préparation de produits existants, l'identification des modifications dues aux méthodes de transformation, à l'entreposage ou à l'utilisation de nouveaux ingrédients et la nécessité de respecter des normes de contrôle de qualité nécessitent toutes l'identification et la détermination des propriétés sensorielles.

L'évaluation sensorielle d'un produit permet, la mesure de ses caractéristiques sensorielles, et/ou la mesure du plaisir qu'il procure au consommateur. Ces deux approches sont souvent complémentaires, mais doivent être soigneusement distinguées car les groupes de sujets interrogés sont différents (AFNOR, 2000). Il existe deux catégories de panels : sujets experts et panel des consommateurs naïfs.

La réalisation d'une mesure sensorielle, qu'elle soit descriptive ou hédonique, doit se faire dans un milieu où les influences extérieures sur les dégustateurs sont limitées. Les échantillons préparés d'une manière rigoureuse sont présentés de façon anonyme (origine, type non spécifiés) et homogène. Enfin, pour éviter l'influence de l'ordre avec lequel le sujet déguste les produits sur ses réponses, il faut changer cet ordre d'un sujet à l'autre et d'une répétition à l'autre pour un même sujet. Il faut aussi noter que la progression de l'évaluation influence considérablement les réponses des dégustateurs (Strigler *et al.*, 2003). Par conséquent, il est indispensable d'indiquer clairement l'ordre à suivre sur le questionnaire. Dans le cas où plusieurs échantillons sont comparés, chaque sujet reçoit seulement une partie des produits à chaque test. L'expérimentateur s'arrange pour que tous les sujets reçoivent le même nombre de produits, et que chaque produit soit dégusté le même nombre de fois.

Les échantillons de kitoza soumis aux analyses sensorielles sont préalablement découpés en dés et conservés dans des boîtes hermétiques.

### **2.2.5.1 Analyse descriptive**

Les tests axés sur le produit ou analyse descriptive font appel à de petits panels de dégustateurs experts qui font office d'instruments d'expérience. Ils servent à identifier les variations entre des produits alimentaires comparables ou à mesurer l'intensité de la saveur (odeur et goût), les caractéristiques de texture ou d'apparence (Watts *et al* ; 1991). Ces panels sont en général formés de dégustateurs qui ont été choisis pour leur acuité sensorielle et ont reçu une formation spéciale pour la tâche à accomplir.

La perception de l'individu s'exprime à travers le langage, la clé de la métrologie sensorielle réside dans l'étape de verbalisation des sensations qui permet de traduire notre perception des qualités d'un produit. L'étude terminologique est l'étape permettant la génération des « descripteurs » (ensemble de termes qui représentent le produit) (SSHA, 1998). Analyser un produit consiste à le décrire en utilisant un ensemble de mots. Déterminer un profil sensoriel consiste à synthétiser sur une fiche l'ensemble des informations dégagées par l'analyse rigoureuse du produit. Pour qu'une analyse soit efficace, il convient d'uniformiser le vocabulaire utilisé.

Ensuite, viennent les épreuves d'évaluation (essais analytiques) qui sont de deux types:

- les épreuves descriptives qui consistent à mesurer l'intensité de la sensation perçue pour chacun des descripteurs choisis, et d'établir à l'aide de l'ensemble des descripteurs quantifiés, le profil sensoriel du produit.
- les épreuves discriminatives qui visent à détecter la présence ou l'absence de différences sensorielles entre deux produits.

La méthode descriptive est basée sur la recherche et la quantification des descripteurs appropriés. Le but est de décrire avec un minimum de mots et un maximum d'efficacité le kitoza fumé de manière à lui donner une carte d'identité précise, reproductible et compréhensible par tous. Cette carte est indépendante des sujets mais elle est comparable à d'autres analyses de ce type effectué sur d'autres produits.

Les sessions ont été menées au Laboratoire d'Analyses Sensorielles (LAS, Ambatobe) du FOFIFA (Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra ou Centre national de recherche appliquée en développement rural, CENRADERU) dans des cabines individuelles en conditions contrôlées : lumière et température ambiante (22 à 25°C) (ISO 8589, 2014). Les analyses sensorielles ont été

effectuées par un panel de dégustateurs experts déjà entraînés à l'évaluation du kitoza. Le jury entraîné est capable de détecter les caractères sensoriels des produits, de les différencier et de verbaliser les propriétés d'un produit d'une manière répétable. Ils étaient performants selon les trois critères standards (homogénéité, capacité de discrimination, répétabilité) utilisés pour évaluer la performance du panel. Ils ont été recrutés dans la base de données du Laboratoire d'Analyse Sensorielle (LAS) d'Ambatobe. Ils avaient pour rôle d'identifier les variations entre les différents échantillons de kitoza fumé ou à mesurer l'intensité de la saveur (odeur et goût), les caractéristiques de texture ou d'apparence.

Après une séance de briefing en utilisant les attributs sensoriels, les échantillons ont été testés à l'aveugle en deux sessions différentes par le panel. A chaque session, 6 échantillons de kitoza, codés avec un numéro aléatoire à trois chiffres, ont été présentés un par un sur une assiette blanche dans un ordre aléatoire à chaque dégustateur. De l'eau est offerte à la température de la pièce aux dégustateurs afin qu'ils puissent se rincer la bouche avant et entre chacun des échantillons qu'ils goûtent.

L'intensité des attributs sensoriels a été marquée sur une échelle linéaire non structurée (SSHA, 1998 ; Bauer *et al.*, 2010). Le logiciel Fizz ® v.2.46I (Biosystems, Couternon, France) a été utilisé pour la notation, et les données ont été collectées automatiquement par ce logiciel.

#### **2.2.5.2 Test consommateurs**

L'approche hédonique a pour objectif d'évaluer le degré de plaisir procuré par un produit en déterminant la préférence et l'acceptabilité du produit par les consommateurs (ACTIA, 1999 ; Lefebvre, 2003). Les personnes retenues pour participer à ces tests de consommation ne sont ni expérimentées ni choisies pour leur acuité sensorielle mais devraient être des consommateurs du produit. Les entrevues ou les tests peuvent être réalisés à un endroit central comme un marché, une école, un centre commercial ou un centre communautaire ou chez le consommateur.

Ces études permettent d'appréhender le comportement des consommateurs vis-à-vis des variations dans la qualité sensorielle des produits et ainsi d'arriver à mieux connaître des multi-facteurs qui dirigent le choix d'achat des consommateurs, de planifier des stratégies et aussi envisager des perspectives intéressantes pour la production de la viande et de ses dérivés (Sveinsdóttir *et al.*, 2008 ; Aaslyng *et al.*, 2007).

Pendant les tests d'acceptation, chaque consommateur a été invité à déguster 20 g de chaque kitoza présenté dans un ordre aléatoire et codé avec un nombre aléatoire à trois chiffres puis à noter leur appréciation du produit sur une échelle structurée de 1 à 9 allant de « extrêmement désagréable » à « extrêmement agréable ». (O'Mahony, 1986 ; Meilgaard *et al.*, 2007). Les échantillons sont présentés à chaque dégustateur de manière à ce que celui-ci puisse les évaluer de la gauche vers la droite dans l'ordre choisi par l'expérimentateur. Il a le droit de goûter plusieurs fois les échantillons (Watts *et al.*, 1991).

Représentation de l'échelle hédonique :

- 9 : extrêmement agréable
- 8 : très agréable
- 7 : agréable
- 6 : un peu agréable
- 5 : ni agréable ni désagréable
- 4 : un peu désagréable
- 3 : désagréable
- 2 : très désagréable
- 1 : extrêmement désagréable

Pour ce test réel auprès des consommateurs, un vaste échantillon aléatoire de personnes, représentatives de la population cible de consommateurs éventuels du kitoza fumé est choisi pour obtenir des renseignements sur leurs attitudes ou leurs préférences. Les échantillons de kitoza ont été transportés dans des boîtes en plastique.

En plus des informations sur l'acceptation du kitoza fumé, les données concernant le niveau social, l'éducation, les pratiques de consommation et d'achat du kitoza ont été demandées à chacun des consommateurs. Pour certaines questions, des échelles nominales ont été utilisées : les nombres représentent des étiquettes ou des noms de catégories et non pas des valeurs numériques réelles.

Toutes les entrevues ont été menées en français ou en malgache et le questionnaire rédigé en français peut être traduit en malgache. Les fiches des questionnaires sont données en Annexe 5.

## **2.2.6 Analyses statistiques**

### **2.2.6.1 Analyses biochimiques et microbiologiques**

Les analyses de variance à un facteur (ANOVA) sont réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA version 7.0 (Statsoft Inc., tula-OK, USA). Lorsque la probabilité d'avoir un effet est supérieure à 95%, le test de Fisher est utilisé pour la comparaison des moyennes.

### **2.2.6.2 Analyses sensorielles**

Afin de sélectionner les attributs discriminatifs, le test ANOVA à un facteur a été effectué selon le facteur « produit » ou « échantillon ». Pour chaque attribut, l'analyse a été couplée au test LSD (Least Significant Difference) pour former des groupes entre les produits en utilisant le logiciel Fizz ® v.2.46I (Biosystems, Couternon, France). Les données correspondant aux attributs sont évaluées par ACP (Analyse en Composantes Principales) pour résumer les relations entre les données obtenues et le kitoza.

### **2.2.6.3 Evaluation hédonique**

L'analyse de variance (modèle d'effet mixte), l'analyse de corrélation (Pearson), régression linéaire multiple, l'analyse du chi carré et l'ACP (matrice de corrélation) sont effectuées en utilisant XLSTAT (6.0). Le test ANOVA est couplé au LSD à un intervalle de confiance de 95%.

**CHAPITRE 3 :**  
**EVALUATION DES PROCEDES**  
**DE FABRICATION DU KITOZA**

L'objectif visé a été de décrire les différents procédés de fabrication du kitoza et évaluer leur conformité aux normes internationales en vigueur.

Pour ce faire nous avons successivement :

- procédé au choix des ateliers de production de kitoza représentatifs ;
- décrit et analysé le procédé par atelier ;
- identifié dans les produits finis les staphylocoques à coagulase négative qui sont des flores d'intérêt technologique.

### **3.1 CHOIX DES PRODUCTEURS**

Le travail a donc été mené auprès de trois producteurs de kitoza fumé : 2 produisant du kitoza de bœuf et 1 du kitoza de porc. Les ateliers des producteurs de kitoza de bœuf se situent dans la province d'Antananarivo, en zone urbaine tandis que celui du producteur de kitoza de porc est en zone périurbaine.

Au départ, les producteurs étaient réticents pour communiquer leur secret de fabrication (les ingrédients et procédé de fabrication de leur kitoza) qui faisait l'originalité de leur produit. Ils ont été retenus pour leur volonté de collaborer avec le projet une fois les objectifs expliqués. D'autre part, d'après les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques ainsi que les tests organoleptiques sur les produits finis effectués dans le cadre de DEA (Andriamampianina, 2012 ; Andrianarison, 2012 ; Andriantahiana, 2012 ; Ratsimba, 2012), leurs kitoza figuraient parmi les plus représentatifs des différents types de produits.

Pour simplifier, les producteurs seront nommés comme suit :

- Producteur A : producteur de kitoza de bœuf 1 sur le site numéro 1
- Producteur B : producteur de kitoza de bœuf 2 sur le site numéro 2
- Producteur C : producteur de kitoza de porc sur le site numéro 3.

#### Echantillonnage

Pour chaque producteur, trois visites, dont chacune a duré trois heures, ont eu lieu pour le suivi des paramètres et les interviews (voir Méthode §2.1.1 p. 32). La première visite a consisté en la description des étapes de fabrication incluant la pesée de la viande et des ingrédients et les interviews des ouvriers et du responsable du site. Les échantillons ont été collectés lors de la deuxième visite. Un deuxième échantillonnage a été effectué lors d'une

troisième visite. La viande et les ingrédients ont été pesés et les températures d'attaque (à l'intérieur du fumoir, 10 cm en-dessous des lanières), à la surface (1 mm sous la surface de la viande) et au cœur des lanières ont été relevées avec une centrale d'acquisition. La durée de chaque étape a été notée et la nature et l'état des matériels et des ingrédients utilisés ont été inventoriés.

Les points de prélèvement des échantillons et les différentes analyses effectuées sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Etapes d'échantillonnage et paramètres physico-chimiques et microbiologiques analysés

Analyses		Etapes d'échantillonnage			
		Matière première	Découpe en lanières	Ajout d'ingrédients et mélange	Fumage
Analyses physico-chimiques	Lipides	X	ND	ND	X
	Protéines	X	ND	ND	X
	Eau	X	X	X	X
	NaCl	ND	ND	X	X
	Aw	X	X	X	X
	pH	X	X	X	X
	Acidité titrable	X	X	X	X
	Acides D et L-lactiques	X	X	X	X
	Glucose	X	X	X	X
	Phénols	X	ND	ND	X
	HAP	ND	ND	ND	X
	TBARS	X	X	X	X
Analyses microbiologiques	Flore aérobie mésophile totale (FAMT)	X	X	X	X
	<i>Escherichia coli</i>	X	X	X	X
	Bactéries lactiques	X	X	X	X
	<i>Salmonella</i>	X	X	X	X

ND : non déterminé

X : effectué

Les ateliers visités sont tous de petite taille (une dizaine d'ouvriers), mais la fabrication du kitoza est attribuée à un seul ouvrier à chaque production.



### **3.2 DESCRIPTION ET ANALYSE DU PROCEDE PAR ATELIER**

Les processus de fabrication des différents producteurs présentent des étapes communes. Leurs descriptions sont données ci-après :

#### Choix de la matière première

Le morceau utilisé est la tranche fine ou le filet pour le bœuf et le jambon pour le porc.

#### Découpe en lanières

La viande est d'abord parée en enlevant les tendons, le gras et les morceaux indésirables. Le morceau de viande est ensuite coupé en tranches perpendiculairement aux fibres puis coupé en lanières. Les morceaux écartés sont réutilisés pour faire de la saucisse ou d'autres produits similaires.

#### Salage

Cette étape consiste en l'ajout d'ingrédients et en leur mélange. Les ingrédients communément utilisés sont le sel et le gingembre. Le sel est ajouté à raison de 10 à 16 g/kg de viande. D'autres ingrédients sont également utilisés comme le sel en poudre, le sucre, le gingembre, l'ail, l'huile, le salpêtre, le sel nitrité, les 4 épices, ...

Selon les fabricants, la recette peut être différente en termes de produits et/ou de quantités ajoutées. Les ingrédients sont lavés, pelés et râpés. De l'huile est ajoutée au kitoza de bœuf avant le fumage pour éviter que la viande ne se dessèche. Le volume d'huile ajouté est de 25 à 50 ml/kg selon le producteur. En général, les ouvriers en charge des opérations ne mesurent ni ne pèsent les ingrédients mais les ajoutent par poignée par habitude et à vue d'œil. Nous avons estimé le volume d'huile en connaissant le volume de la bouteille et la masse des ingrédients en pesant la quantité correspondante à leur méthode de mesure (poignée, pincée,...). Pour des raisons de confidentialité, leurs proportions ne sont pas données.

Le tout est mélangé à la main pendant 1 à 2 min afin que les ingrédients puissent bien imprégner la viande. Les lanières salées de bœuf subissent un temps de marinage de 10 min à 2 h afin d'attendrir la viande. A la fin de cette étape, le fumoir est allumé. Les lanières salées sont ensuite fixées à des crochets avant d'être introduites dans le fumoir.

### Fumage

Lors du fumage de la viande, différentes opérations unitaires ont lieu : la cuisson qui s'effectue vers 60°C, le séchage par l'évaporation de l'eau du produit et le fumage proprement dit par le dépôt de fumée sur la viande. Il faut mentionner que les lanières de kitoza peuvent être fumées avec d'autres produits tels des saucisses produites sur le même site pour rentabiliser le fumage.

Les méthodes de fumage et les combustibles utilisés diffèrent selon le producteur.

Le plan de travail et les outils sont préalablement lavés au savon et à l'eau. L'opérateur se lave les mains au savon et à l'eau avant et après chaque étape s'il a effectué une manipulation pouvant induire une contamination du produit (râpage des ingrédients, allumage du feu,...)

Les résultats rapportés ci-dessous sont ceux de la 1<sup>ère</sup> (I) et la 2<sup>ème</sup> productions (II). La teneur en protéines durant la deuxième production ainsi que la teneur en chrysène n'ont pas été déterminées à cause d'un défaut d'appareil.

#### **3.2.1 Producteur A**

##### **3.2.1.1 Description des étapes et caractéristiques physico-chimiques**

La matière première est achetée tôt le matin (vers 6 h), le jour de la production sur le site d'abattage. La viande est transportée jusqu'au site de transformation à la température ambiante (entre 7-15°C à Antananarivo à ce moment de la journée) dans un sac en plastique.

La viande de bœuf (figure 5a, p. 62) est lavée dès l'arrivée à l'atelier en raison du manque d'hygiène à l'abattoir et des conditions de transport. Cette étape dure environ 5 à 15 min. Comme l'atelier ne dispose pas d'eau courante, l'eau est conservée à la température ambiante dans deux barils de 200 l remplis deux fois par jour à la fontaine publique la plus proche. Avant de laver la viande, l'opérateur se lave les mains au savon. La paillasse et la cuvette sont nettoyées au savon, puis rincées avant d'y déposer la viande. La viande est trempée dans cette cuvette remplie d'eau et est rincée jusqu'à ce que l'eau de rinçage soit claire. La viande lavée est ensuite suspendue à un crochet fixé à une barre de fer près des paillasses afin de laisser l'eau s'égoutter.

La viande est ensuite conservée à +4°C dans un sac en plastique pendant 2-6 h si la découpe en lanières n'est pas effectuée immédiatement.

Pour commencer, la viande est placée sur la planche à découper. Les parties indésirables sont enlevées (figure 5b, p. 62). Les morceaux éliminés représentent environ 1-5% de la masse de viande initiale. Ces déchets sont transformés en d'autres produits. La viande est d'abord coupée en tranches minces perpendiculairement aux fibres (figure 5c, p. 62), puis en lanières épaisses de 30 cm de long x 2-3 cm d'épaisseur (figure 5d, p. 62). Les lanières peuvent être de longueur variable en fonction du morceau initial utilisé. Cette étape dure entre 8-20 min.

Pendant la pesée des ingrédients (1 min), les lanières découpées sont laissées sur un plateau à la température ambiante. Les ingrédients, achetés chez un grossiste, sont ajoutés à la viande et mélangés à la main pendant environ 2 min (figure 5e, p. 62). D'après l'opérateur, l'huile est ajoutée à la viande maigre pour assurer sa tendreté.

Afin de laisser les ingrédients bien imprégner la viande, les lanières assaisonnées sont placées au réfrigérateur (+4°C) pendant 10 min. Ce processus de refroidissement protège également le produit de l'exposition aux microorganismes. Entretemps, le feu est allumé (figure 5f, p. 62).

Les lanières sont fixées à des crochets. Une fois que le bois a pris feu, elles sont placées dans le fumoir sur des barres espacées de 10 cm les unes des autres (figure 5g, p. 62). Les lanières sont placées à environ 1,20 m au-dessus du feu. Toutes les ouvertures pour aération sont bouchées (figure 5h, p. 62). Il est préférable d'utiliser du bois d'eucalyptus car selon l'opérateur sa combustion dure plus longtemps s'il n'est pas fendu. Durant le fumage, il est nécessaire d'éviter à la fois l'apparition de grosses flammes qui brûleraient le kitoza et aussi une fumée trop dense qui donnerait un goût trop fumé au produit. Dans ce cas, les ouvertures d'aération doivent être ouvertes un moment et l'opérateur retire du bois de l'unité de fumage. Une représentation schématique du fumoir est donnée sur la figure 6 (p. 63).

L'opération de fumage dure entre 1 h 30 min et 2 h 20 min. L'opérateur peut ajouter du bois au besoin. Au total, environ 6 à 7 kg de bois sont utilisés.

L'opérateur constate visuellement la fin du fumage. Le kitoza est sorti du fumoir et déposé sur un papier d'emballage pour garder le produit propre (figure 5i, p. 62).

### Chapitre 3 : Evaluation des procédés de fabrication du kitoza



a) Morceau de tranche fine



b) Parage de la viande



c) Découpe en tranches



d) Découpe en lanières



e) Mélange de la viande et des ingrédients



f) Allumage du feu



g) Lanières de viande dans le fumoir



h) Ouvertures d'aération du fumoir



i) Kitoza retiré du fumoir

Figure 5 : Etapes de la production de kitoza chez le producteur A

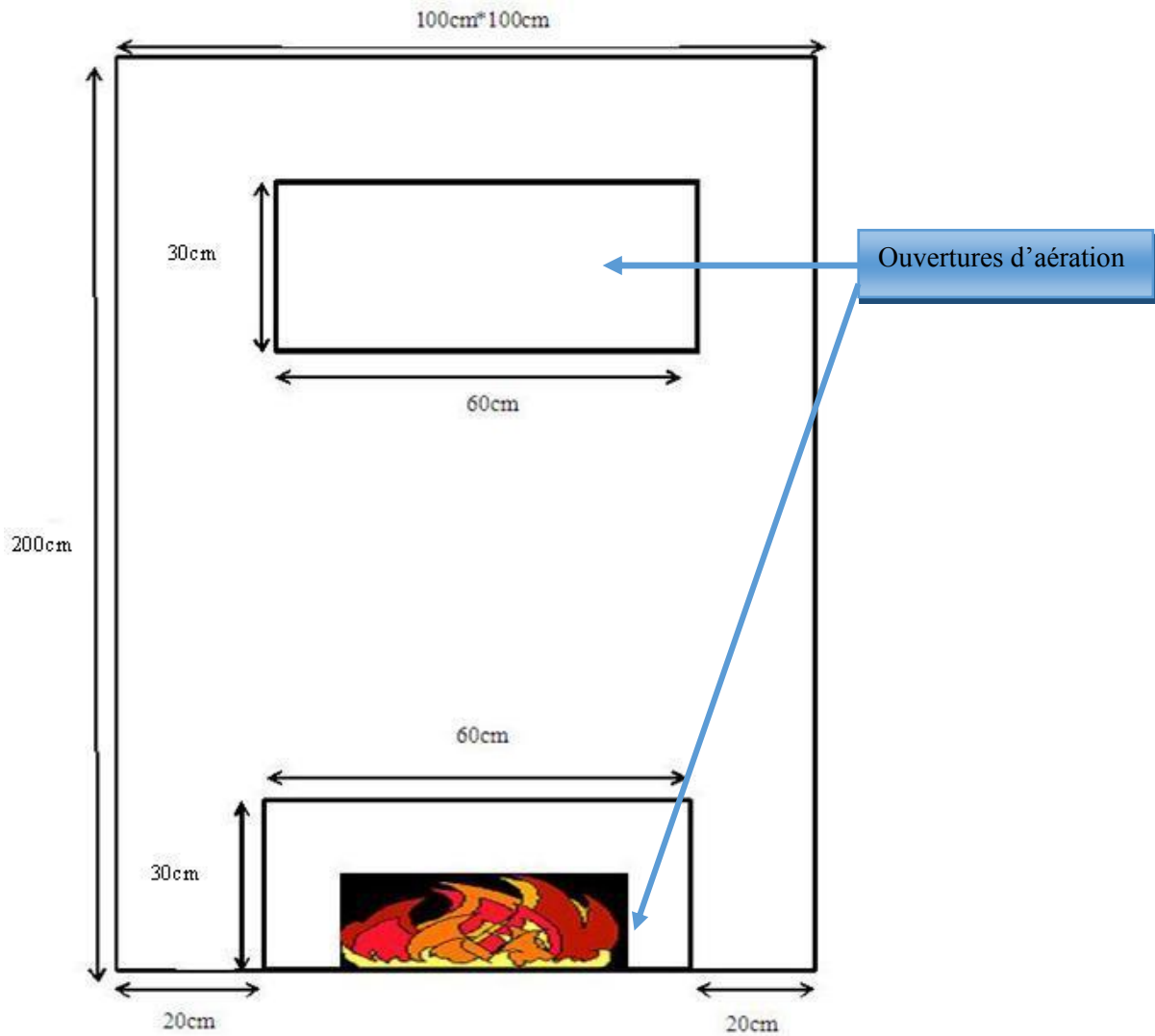


Figure 6 : Représentation schématique du fumoir du producteur A vu de face

Cette étape est particulièrement difficile pendant la saison des pluies car le bois n'est pas suffisamment sec et l'entretien du feu peut ainsi devenir gênant. C'est le cas pour la 2<sup>ème</sup> production durant laquelle la durée du fumage était plus longue (voir diagramme figure 8, p. 67). Dans ce cas, l'opérateur laisse les ouvertures d'aération ouvertes et la température appropriée est plus difficile à atteindre conduisant à une viande insuffisamment cuite. Cela représente aussi une perte de temps, de bois et surtout une moins bonne qualité du kitoza qui est plus fumé (couleur trop foncée et odeur de brûlé) et difficile à vendre. La fumée peut également remplir toute la pièce. Cela ne gêne aucunement les ouvriers mais à long terme, cette exposition pourrait être à l'origine d'une intoxication chronique et engendrer des maladies chez ces personnes. Pour la première production, la température a été mesurée avec un thermomètre

(0-100°C) placé dans l'unité de fumage à côté des crochets. Il a indiqué 100°C après 30 min et jusqu'à la fin.

L'évolution des températures mesurées à l'aide de la centrale d'acquisition au cours de l'étape de fumage est représentée sur la figure 7.

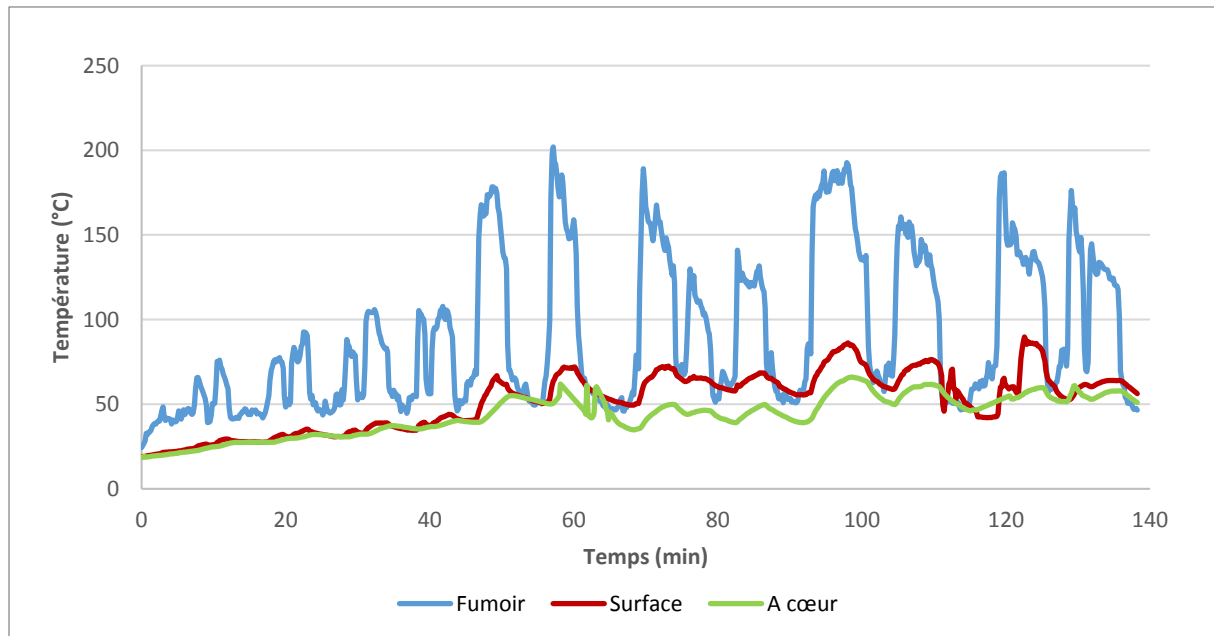


Figure 7 : Evolution des températures durant le fumage chez le producteur A

Durant les 50 premières minutes, la température à cœur et la température à la surface vont respectivement de 24,4 et 42°C à 50 et 90°C tandis que la température d'attaque va de 18,7°C à environ 150°C. Puis, la température d'attaque subit de grosses fluctuations, allant de 24°C jusqu'à 200°C. La température à cœur des lanières varie de 35 à 66°C durant les 90 min restantes. Le procédé de ce producteur correspond ainsi à la combinaison des opérations de cuisson, de séchage et de fumage.

Des pesées ont été effectuées à chaque étape de la 1<sup>ère</sup> (I) et la 2<sup>ème</sup> (II) production et les écarts des différents paramètres ont été calculés. Nous avons également procédé aux analyses physico-chimiques des différents prélèvements. Les résultats sont présentés dans le tableau 11 (p. 65). Le diagramme de fabrication du kitoza chez le producteur A est présenté sur la figure 8 (p. 67).

Tableau 11 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur A

Paramètres (unité de mesure)		Matière première	Découpe en lanières	Ajout d'ingrédients et mélange	Fumage	p
Lipides (g/100g)	I	0,9±0,2 <sup>a</sup>	ND	ND	3,4±0,7 <sup>b</sup>	<0,01
	II	2,2±0,8 <sup>a</sup>	ND	ND	7,0±0,5 <sup>b</sup>	<0,01
Lipides (g/100g bs)	I	4,2±0,8 <sup>a</sup>	ND	ND	9,2±1,7 <sup>b</sup>	≤0,01
	II	9,0±3,4 <sup>a</sup>	ND	ND	15,7±1,7 <sup>a</sup>	0,80
Protéines (g/100g)	I	23,5±1,6 <sup>a</sup>	ND	ND	33,1±2,0 <sup>b</sup>	<0,01
	II	ND			ND	ND
Protéines (g/100g bs)	I	103,3±6,9 <sup>a</sup>			90,4±3,4 <sup>b</sup>	<0,05
	II	ND			ND	ND
Eau (g/100g)	I	77,2±0,1 <sup>c</sup>	75,3±0,9 <sup>b</sup>	74,5±0,4 <sup>b</sup>	63,4±1,4 <sup>a</sup>	<0,001
	II	76,1±0,6 <sup>b</sup>	74,8±0,4 <sup>b</sup>	74,3±0,7 <sup>b</sup>	55,6±1,8 <sup>a</sup>	<0,001
Sel (g/100g)	I	ND	ND	1,37±0,27 <sup>a</sup>	1,68±0,22 <sup>a</sup>	0,19
	II			0,99±0,04 <sup>a</sup>	1,61±0,14 <sup>b</sup>	<0,01
Aw	I	0,997±0,004 <sup>b</sup>	0,995±0,009 <sup>b</sup>	0,985±0,013 <sup>a,b</sup>	0,958±0,029 <sup>a</sup>	0,068
	II	0,990±0,001 <sup>c</sup>	0,989±0,001 <sup>c</sup>	0,984±0,003 <sup>b</sup>	0,968±0,003 <sup>a</sup>	<0,001
pH	I	5,82±0,03 <sup>c</sup>	5,42±0,09 <sup>a</sup>	5,60±0,11 <sup>b</sup>	5,85±0,03 <sup>c</sup>	<0,01
	II	5,59±0,16 <sup>b,c</sup>	5,40±0,01 <sup>a</sup>	5,54±0,06 <sup>a,b</sup>	5,72±0,02 <sup>c</sup>	<0,05
Acidité titrable (meq/100g)	I	10,2±0,7 <sup>a</sup>	10,2±2,2 <sup>a</sup>	11,1±2,6 <sup>a</sup>	18,7±3,0 <sup>b</sup>	<0,01
	II	9,6±0,9 <sup>a</sup>	9,8±1,3 <sup>a</sup>	10,4±0,2 <sup>a</sup>	14,5±1,4 <sup>b</sup>	<0,01
Acidité titrable (meq/100g bs)	I	45,0 ±3,1 <sup>a</sup>	41,5±9,1 <sup>a</sup>	43,5±9,6 <sup>a</sup>	51,1±9,1 <sup>a</sup>	0,55
	II	40,3 ±3,6 <sup>b</sup>	38,9 ±5,3 <sup>a,b</sup>	40,6 ±1,0 <sup>b</sup>	32,8 ±3,1 <sup>a</sup>	0,091
D-Acide lactique (g/100g)	I	<0,014 <sup>a</sup>	0,017±0,004 <sup>a *</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	0,020±0,008 <sup>a</sup>	0,34
	II	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	
D-Acide lactique (g/100g bs)	I	<0,062±0,000 <sup>a</sup>	0,065±0,015 <sup>a *</sup>	<0,055±0,001 <sup>a</sup>	0,054±0,023 <sup>a</sup>	0,74
	II	<0,059±0,001 <sup>c</sup>	<0,056±0,001 <sup>b</sup>	<0,054±0,001 <sup>b</sup>	<0,032±0,002 <sup>a</sup>	<0,001
L-Acide lactique (g/100g)	I	0,67±0,02 <sup>a</sup>	0,82±0,03 <sup>c</sup>	0,74±0,03 <sup>b</sup>	0,91±0,04 <sup>d</sup>	<0,01
	II	0,64±0,08 <sup>a</sup>	0,74±0,02 <sup>a</sup>	0,74±0,08 <sup>a</sup>	1,29±0,10 <sup>b</sup>	<0,01
L-Acide lactique (g/100g bs)	I	2,94±0,09 <sup>b</sup>	3,33±0,14 <sup>c</sup>	2,89±0,16 <sup>b</sup>	2,49±0,07 <sup>a</sup>	<0,01
	II	2,67±0,29 <sup>a</sup>	2,94±0,13 <sup>a</sup>	2,88±0,34 <sup>a</sup>	2,91±0,32 <sup>a</sup>	0,66

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; bs: base sèche; nd: non déterminé; p : probabilité

Tableau 11: Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur A (suite)

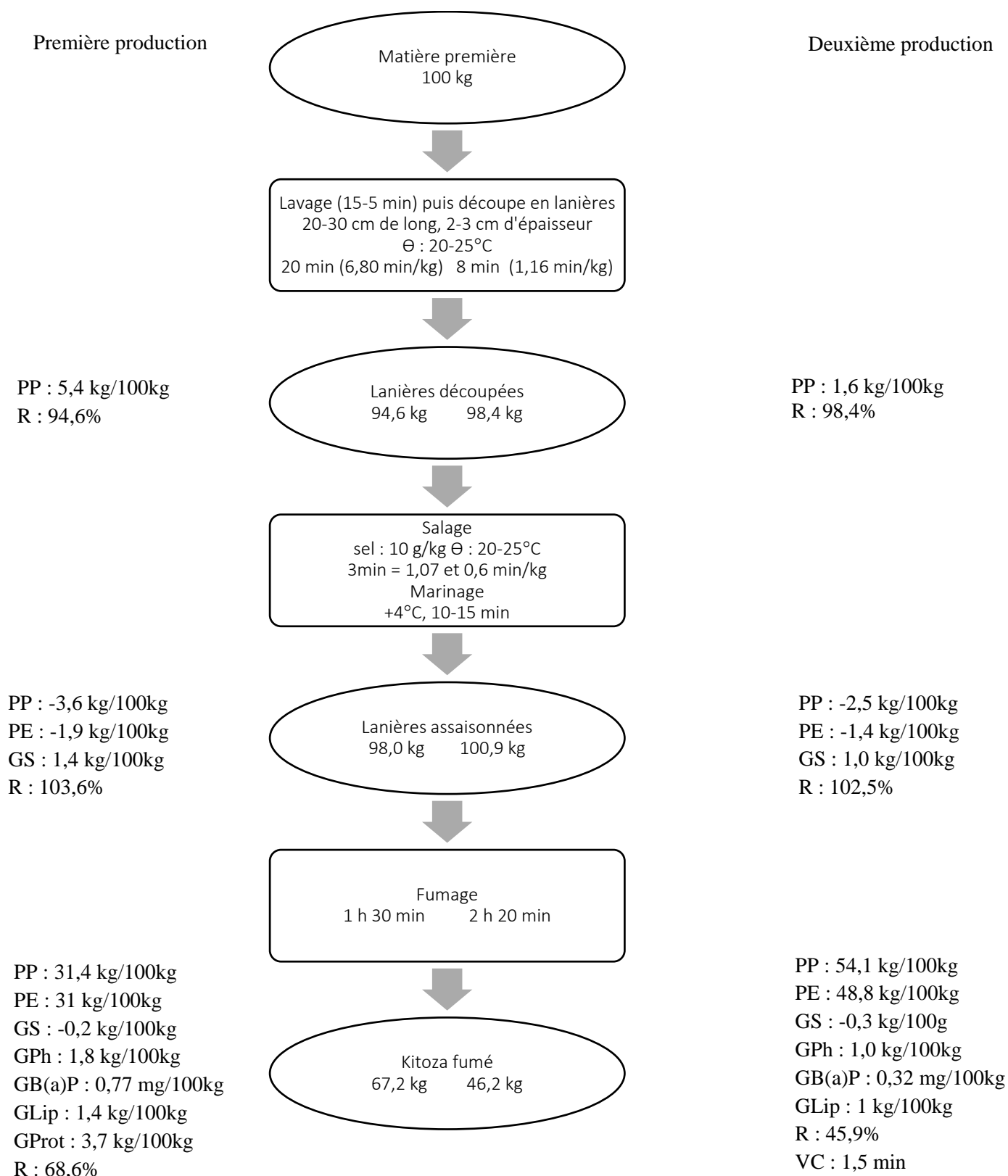
Paramètres (unité de mesure)		Matière première	Découpe en lanières	Ajout d'ingrédients et mélange	Fumage	p
Glucose (g/100g)	I	0,022±0,002 <sup>a</sup>	0,155±0,030 <sup>b,c</sup>	0,131±0,030 <sup>b</sup>	0,200±0,031 <sup>c</sup>	<0,001
	II	0,153±0,054 <sup>a</sup>	0,222±0,028 <sup>b</sup>	0,188±0,006 <sup>a,b</sup>	0,209±0,021 <sup>a,b</sup>	0,12
Glucose (g/100g bs)	I	0,098±0,009 <sup>a</sup>	0,629±0,136 <sup>b</sup>	0,515±0,112 <sup>b</sup>	0,543±0,065 <sup>b</sup>	<0,001
	II	0,635±0,207 <sup>a,b</sup>	0,880±0,117 <sup>c</sup>	0,733±0,035 <sup>b,c</sup>	0,473±0,063 <sup>a</sup>	<0,05
Phénols (mg/100g)	I	0,00±0,01 <sup>a</sup>	align="center">ND	align="center">ND	2,59±0,39 <sup>b</sup>	<0,001
	II	ND			2,10±0,25	ND
Phénols (mg/100g bs)	I	0,02±0,03 <sup>a</sup>	align="center">ND	align="center">ND	7,06±0,98 <sup>b</sup>	<0,001
	II	ND			4,74±0,60	ND
HAP (µg/kg)	B(a)A	align="center">ND	align="center">ND	align="center">ND	28,70±2,50	
					13,19±2,08	
	B(b)F	align="center">ND	align="center">ND	align="center">ND	11,93±0,78	
					5,66±1,04	
	B(a)P	align="center">ND	align="center">ND	align="center">ND	11,23±1,63	
					6,92±1,18	
TBARS (mg MDA/kg)	I	0,03±0,00 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	0,14±0,14 <sup>a,b</sup>	0,30±0,18 <sup>b</sup>	0,062
	II	0,34±0,06 <sup>a</sup>	0,26±0,01 <sup>a</sup>	0,30±0,03 <sup>a</sup>	0,85±0,30 <sup>b</sup>	0,0050

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; bs: base sèche; nd: non déterminé; p : probabilité ; n = 3 échantillons ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même ligne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes; \* 1 échantillon/3 était inférieur au seuil de détection et la moyenne a été calculée en prenant pour cet échantillon une valeur égale au seuil de détection (0,014 g/100 g)

Les teneurs en lipides, exprimées en base sèche (bs) et en sel, ont augmenté significativement dans le produit final, ce qui résulte en une diminution consistante de l'Aw après le salage et le fumage. Il n'y avait aucun signe de fermentation car les teneurs en acide D-lactique et l'acidité titrable en bs n'ont pas augmenté et la teneur en glucose et le pH n'ont pas diminué. La teneur en phénols en bs des kitoza était d'environ 7,06 mg/100g (I) et 4,74 mg/100g (II). Cependant, le fumage a conduit à des niveaux élevés de B(a)P de 11,23 µg/kg (I) et 6,92 µg/kg (II). Les valeurs de TBARS sont restées faibles durant tout le procédé.



### Chapitre 3 : Evaluation des procédés de fabrication du kitoza



PP : perte en poids, PE : perte en eau, GS : gain en sel, GPh : gain en phénol, GB(a)P, gain en B(a)P, GLip : gain en lipides, GProt : gain en protéines, VC : valeur cuisatrice ;  $\Theta$  : température, R : rendement

Figure 8 : Diagramme de fabrication traditionnelle chez le producteur A et données aux différentes étapes

Des pertes en poids de 5,4 (I) et 1,6 kg/100kg (II) ont été observées après la découpe en lanières. La durée de découpe est plus longue lors de la 1<sup>ère</sup> production (20 min) que lors de la 2<sup>ème</sup> (8 min) (figure 8, p. 67).

Des pertes en poids négatives, -3,6 kg/100g (I) et -2,5 kg/100g (II) ont été observées après le salage, correspondant à des gains en sel de 1,4 kg/100kg (I) et 1 kg/100kg (II) et en eau de 1,9 kg/100kg (I) et 1,4 kg/100kg (II) (figure 8, p. 67).

Après le fumage, le kitoza a subi une perte de poids de 31,4 kg/100kg (I) et 54,1 kg/100kg (II) ainsi qu'une perte en eau de 31 kg/100kg (I) et 48,8 kg/199kg (II). Les gains en lipides des deux productions sont proches : 1,4 kg/100kg (I) et 1 kg/100kg (II) (figure 8, p. 67).

Les différences entre les 2 productions étaient notamment la perte d'eau qui était plus élevée lors la 2<sup>ème</sup> production, probablement à cause de la durée plus longue de l'étape de fumage (2 h 20 min). Nous pouvons également noter que, même si le fumage était plus court pour la 1<sup>ère</sup> production, la teneur en HAP était plus élevée dans le produit.

### 3.2.1.2 Caractéristiques microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques des échantillons récoltés chez le producteur A sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Résultats des analyses microbiologiques aux différentes étapes d'échantillonnage chez le producteur A

Microorganismes (log cfu/g)		Matière première	Découpe en lanières	Salage	Fumage	p
FAMT	I	5,1±0,2 <sup>b</sup>	5,6±0,3 <sup>c</sup>	5,6±0,2 <sup>c</sup>	4,1±0,0 <sup>a</sup>	<0,001
	II	5,8±0,0 <sup>c</sup>	5,1±0,0 <sup>b</sup>	5,8±0,1 <sup>c</sup>	2,4±0,1 <sup>a</sup>	<0,001
<i>E. coli</i>	I	2,2±0,1 <sup>b</sup>	3,8±0,1 <sup>d</sup>	3,2±0,1 <sup>c</sup>	<1 <sup>a</sup>	<0,001
	II	1,3±0,6	1,2±0,3 (n=2)	1 (n=1)	<1	0,56
Bactéries lactiques	I	4,7±0,4 <sup>b</sup>	5,3±0,3 <sup>c</sup>	5,2±0,1 <sup>b,c</sup>	4,0±0,1 <sup>a</sup>	<0,01
	II	5,5±0,1 <sup>b</sup>	5,2±0,3 <sup>b</sup>	5,5±0,2 <sup>b</sup>	2,2±0,2 <sup>a</sup>	<0,001
<i>Salmonella</i>	I	Absence	Absence	Absence	Absence	
	II	Absence	Absence	Absence	Absence	

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; p : probabilité ; n = 3 échantillons ; les moyennes ont été calculées avec les échantillons ayant une valeur supérieure ou égale au seuil de détection ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même ligne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes.

Le nombre des microorganismes diminue significativement à la fin du procédé et aucun germe pathogène n'a été détecté.

### **3.2.2 Producteur B**

#### **3.2.2.1 Description des étapes et caractéristiques physico-chimiques**

La viande de bœuf provient de l'abattoir où les animaux sont abattus tôt le matin (habituellement vers 5 h). Elle est livrée par le grossiste à la boutique dans la journée vers 11 h. La viande est transportée dans des sacs en plastique à la température ambiante (entre 10-20°C à Antananarivo à ce moment de la journée). Si elle n'est pas tout de suite utilisée, elle est transférée dans un autre sachet plastique propre et conservée à -20°C. La date et l'heure de livraison sont écrites sur le sachet. La viande livrée est déjà parée.

La préparation commence par le lavage de la viande sous l'eau courante. Cette opération dure environ 2 min. Le morceau de viande est d'abord coupé perpendiculairement aux fibres en tranches épaisses de 2 cm (figure 9a, p. 70) puis en lanières d'environ 20-30 cm de long x 2 cm d'épaisseur (figure 9b, p. 70). Les morceaux de viande écartés (environ 21-30% de la masse initiale) sont réutilisés pour faire d'autres produits tels que les saucisses. Cette étape dure environ 25 à 40 min et se fait à environ 30°C.

L'opérateur pèse les ingrédients. Tous les ingrédients à part le sel sont livrés au magasin le matin par des commerçants ambulants. Les différents ingrédients, broyés, râpés et pesés (figures 9c et 9d, p 70) sont ajoutés à la viande et le tout est mélangé manuellement pendant environ 2 min (figure 9e, p 70).

Tout au long de ces activités, la viande est laissée à la température ambiante (30-40°C) à l'air libre.

Les lanières salées sont marinées à la température ambiante pendant 15 min – 2 h selon les exigences du commerce. Au besoin, l'étape est raccourcie. Cela se produit souvent pour les commandes qui doivent être livrées le matin. L'opérateur et le responsable de site ont révélé que le kitoza est meilleur quand il est mariné pendant 2 h.

Le fumoir est pourvu d'une sonde (0-300°C) au niveau des lanières. Une représentation schématique de l'unité de fumage est donnée à la figure 10, p. 71. La profondeur du fumoir est de 80 cm et l'épaisseur des murs est de 11 cm.

### Chapitre 3 : Evaluation des procédés de fabrication du kitoza



a) Découpe en tranches



b) Découpe en lanières



c) Gingembre râpé  
(1ere production)



d) Papaye râpée



e) Mélange de la viande et des  
ingrédients



f) Lanières de viande dans le fumoir (fumage 1)



g) Lanières de viande dans le fumoir (fumage 2)

Figure 9 : Etapes de la production de kitoza chez le producteur B

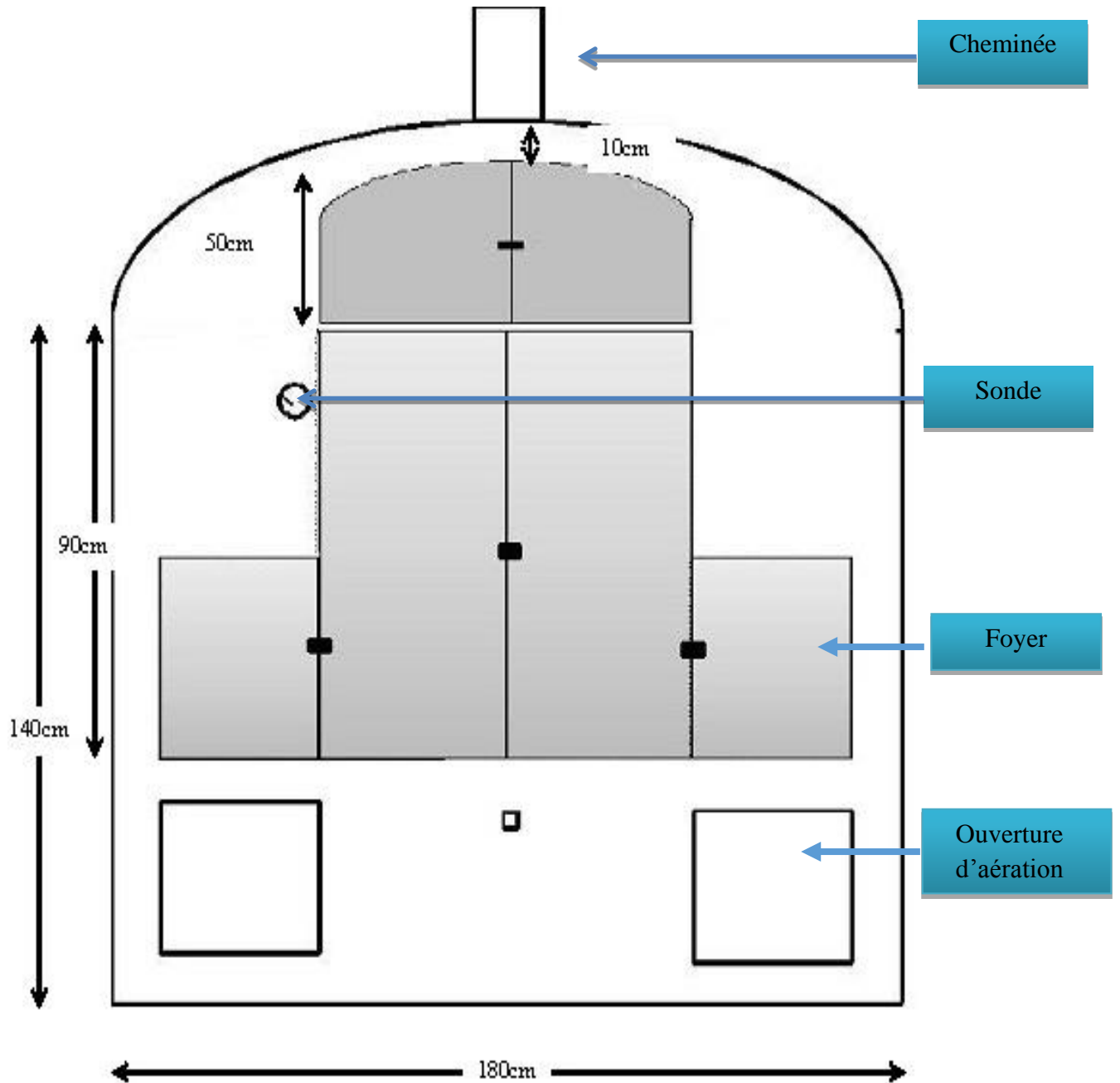


Figure 10 : Représentation schématique du fumoir du producteur B vu de face

Pour la 1<sup>re</sup> production, la température de traitement a été mesurée avec la sonde encastrée. Sans feu, la température à l'intérieur du fumoir est de 50°C, les foyers de la cuisine étant à proximité. La température à l'intérieur du fumoir s'élève progressivement de 70 à 150°C (I : sonde) et varie de 20 à 110°C (II : centrale). La température à cœur des lanières passe de 23 à 42°C durant ces 32 min.

Connaissant le volume de la bouteille, la quantité d'huile mesurée est d'environ 25 ml/kg de viande. L'opérateur ajoute du bois dans les deux foyers situés sur les côtés du fumoir. La quantité de bois a été estimée visuellement (1 kg). Puis, le feu est allumé.

L'étape de fumage se déroule en deux étapes séparées que l'opérateur appelle séchage et fumage mais qui correspondent en réalité à une première opération de fumage au bois puis une opération de cuisson au charbon. Nous désignerons ces opérations fumage 1 et 2 par la suite. Avant l'étape de fumage 2, les lanières sont huilées, et malaxées à la main pendant environ 2min, afin de garder leur souplesse et pour qu'elles ne se dessèchent pas.

Les lanières sont suspendues à une barre de fer et placées dans le fumoir (figure 9f, p. 70) pendant 45 min à 1 h (45 min – I, 32 min – II). L'évolution des températures pendant le fumage 1 est présentée à la figure 11.

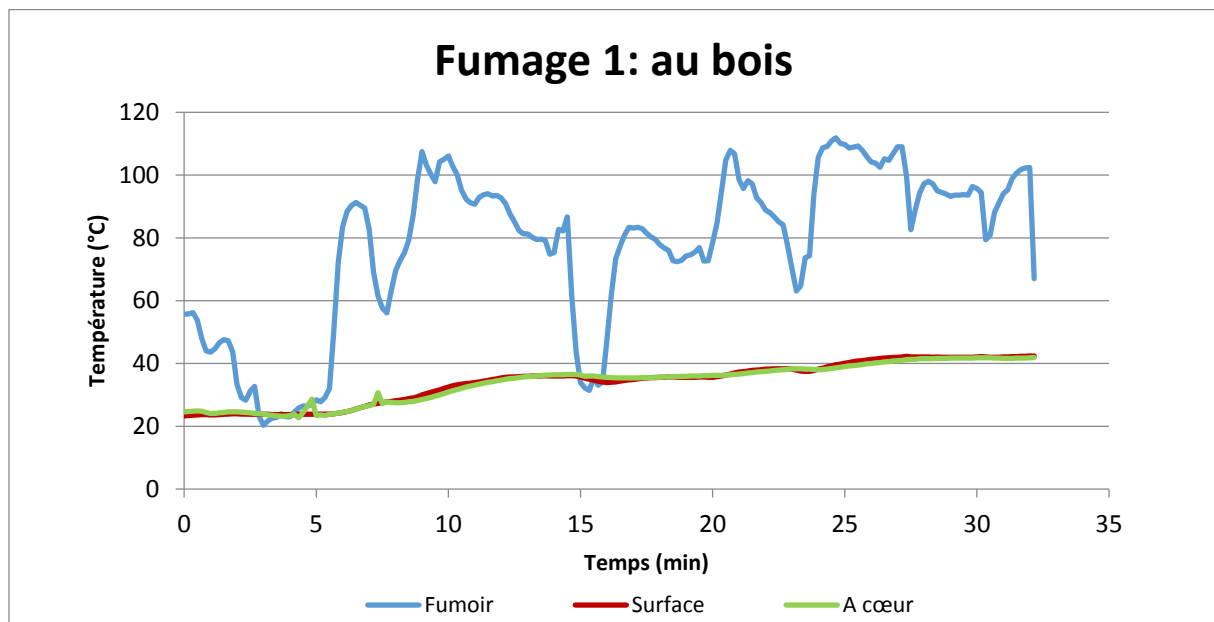


Figure 11 : Evolution des températures pendant le fumage 1

Les deux foyers situés sur les côtés de l'unité de fumage sont à moitié remplis avec du charbon. Les dimensions d'un foyer sont 70 x 30 x 30 cm. Le volume de charbon de bois utilisé est de 0,063 m<sup>3</sup>.

L'évolution des températures pendant le fumage 2 est montrée à la figure 12 (p. 73).

L'opérateur ajoute du charbon dans les deux fours situés sur les côtés de l'unité de fumage. Une plaque de fer est placée en diagonale au-dessus du feu (figure 9g, p 70). Lorsque la température atteint 200°C (10-30 min), 15 à 20 min sont comptés.

Pendant cette étape de fumage 2, la température à cœur des lanières de kitoza varie de 23 à 68°C tandis que la température à la surface va de 28 à 81°C. La température d'attaque augmente progressivement de 94°C à environ 200°C au bout de 25 min puis diminue progressivement avec la combustion du charbon. Pour contrôler visuellement l'état de la cuisson, la porte du fumoir est ouverte entre 18 et 22 min ce qui entraîne une baisse de température.

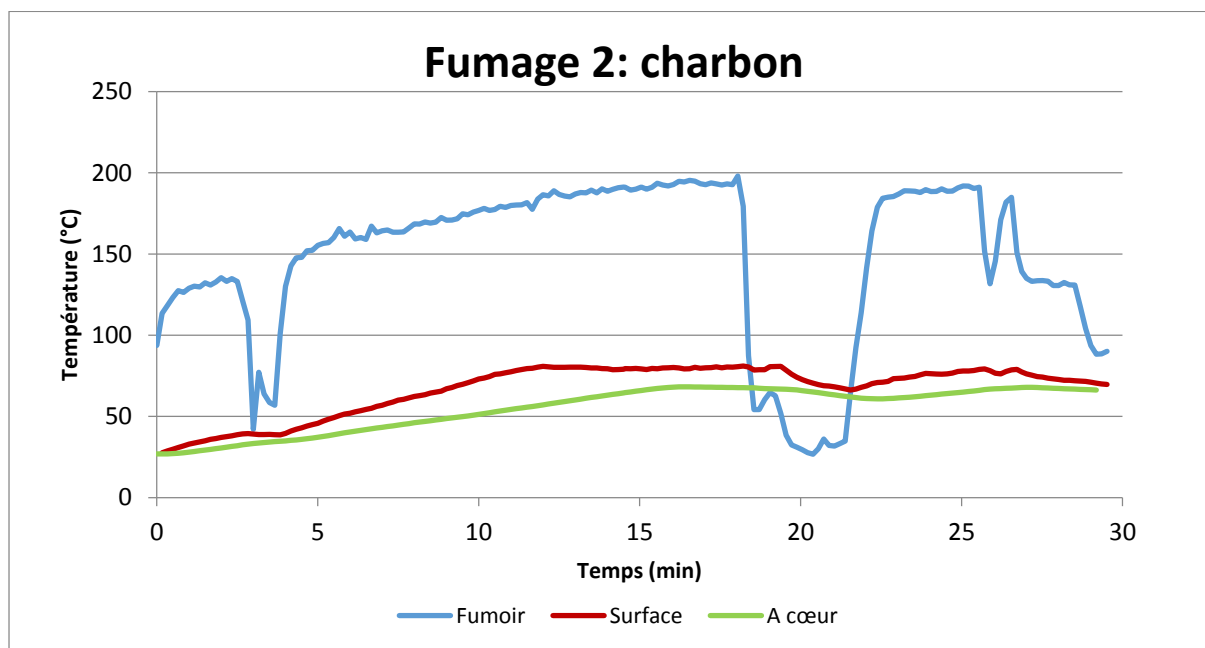


Figure 12 : Evolution des températures pendant le fumage 2

Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons prélevés chez le producteur B sont consignées dans le tableau 13 (p. 7474). Le diagramme de fabrication du kitoza chez le producteur B est présenté sur la figure 13 (p. 76).

La teneur en lipides (bs) diminue à l'étape de fumage 1 puis augmente significativement à la fin du procédé.

Concernant la teneur en eau, il n'y a aucune différence significative entre la matière première et la découpe en lanières. Mais elle diminue progressivement durant le processus pour atteindre  $59,4 \pm 0,7$  et  $61,9 \pm 1,3$  g/100g dans le produit fini.

Tableau 13 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur B

Paramètres (unité de mesure)		Matière première	Découpe en lanières	Ajout d'ingrédients et mélange	Fumage 1	Fumage 2	p
Lipides (g/100g)	I	2,0±0,6 <sup>a</sup>	ND	ND	1,4±0,3 <sup>a</sup>	3,3±0,4 <sup>b</sup>	<0,01
	II	1,3±0,2 <sup>b</sup>			0,9±0,1 <sup>a</sup>	2,0±0,2 <sup>c</sup>	<0,001
Lipides (g/100g bs)	I	8,3±2,4 <sup>a</sup>	ND	ND	4,6±1,0 <sup>a</sup>	8,1±0,7 <sup>a</sup>	<0,05
	II	5,5±0,9 <sup>b</sup>			3,0±0,3 <sup>a</sup>	5,4±0,4 <sup>b</sup>	<0,01
Protéines (g/100g)	I	23,3±1,2 <sup>a</sup>	ND	ND	23,9±2,3 <sup>a</sup>	32,3±0,1 <sup>b</sup>	<0,001
	II	ND			ND	ND	
Protéines (g/100g bs)	I	97,8±3,6 <sup>b</sup>	ND	ND	77,2±7,5 <sup>a</sup>	79,7±1,5 <sup>a</sup>	<0,01
	II	ND			ND	ND	
Eau (g/100g)	I	76,2±0,6 <sup>d</sup>	76,5±0,5 <sup>d</sup>	72,6±0,1 <sup>c</sup>	69,0±0,2 <sup>b</sup>	59,4±0,7 <sup>a</sup>	<0,001
	II	77,0±0,6 <sup>d</sup>	76,6±0,4 <sup>d</sup>	74,9±0,5 <sup>c</sup>	70,5±0,4 <sup>b</sup>	61,9±1,3 <sup>a</sup>	<0,001
Sel (g/100g)	I	ND	ND	1,55±0,05 <sup>a</sup>	1,82±0,14 <sup>b</sup>	2,41±0,11 <sup>c</sup>	<0,001
	II			1,86±0,16 <sup>a</sup>	2,13±0,15 <sup>a,b</sup>	2,18±0,13 <sup>b</sup>	0,080
Aw	I	0,988±0,006 <sup>a,b</sup>	0,989±0,018 <sup>b</sup>	0,987±0,014 <sup>a,b</sup>	0,987±0,009 <sup>a,b</sup>	0,966±0,006 <sup>a</sup>	0,17
	II	0,989±0,001 <sup>c</sup>	0,989±0,001 <sup>c</sup>	0,976±0,000 <sup>b</sup>	0,973±0,004 <sup>b</sup>	0,968±0,002 <sup>a</sup>	<0,001
pH	I	5,61±0,18 <sup>c</sup>	5,28±0,02 <sup>a</sup>	5,42±0,02 <sup>a,b</sup>	5,50±0,06 <sup>b,c</sup>	5,85±0,03 <sup>d</sup>	<0,001
	II	5,74±0,16 <sup>a,b</sup>	5,80±0,16 <sup>a,b</sup>	5,81±0,03 <sup>a,b</sup>	5,64±0,02 <sup>a</sup>	5,87±0,07 <sup>b</sup>	0,17
Acidité titrable (meq/100g)	I	13,2±4,1 <sup>a</sup>	11,1±0,5 <sup>a</sup>	10,8±1,2 <sup>a</sup>	10,1±1,8 <sup>a</sup>	14,0±2,7 <sup>a</sup>	0,30
	II	8,4±0,2 <sup>a</sup>	9,1±0,5 <sup>a</sup>	8,4±0,9 <sup>a</sup>	10,9±0,6 <sup>b</sup>	15,6±1,8 <sup>c</sup>	<0,001
Acidité titrable (meq/100g bs)	I	55,7±18,7 <sup>b</sup>	47,5±2,3 <sup>a,b</sup>	39,5±4,4 <sup>a,b</sup>	32,6±5,7 <sup>a</sup>	34,4±6,2 <sup>a</sup>	0,066
	II	36,5±1,8 <sup>a,b</sup>	39,0±3,1 <sup>a,b</sup>	33,3±4,0 <sup>a</sup>	37,1±1,7 <sup>a,b</sup>	40,1±5,2 <sup>b</sup>	0,22
D-Acide lactique (g/100g)	I	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	0,021±0,009 <sup>b</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	0,15
	II	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	
D-Acide lactique (g/100g bs)	I	<0,059±0,001 <sup>b</sup>	<0,059±0,001 <sup>b</sup>	<0,051±0,000 <sup>a,b</sup>	0,069±0,029 <sup>b</sup>	<0,034±0,001 <sup>a</sup>	0,072
	II	<0,061±0,001 <sup>d</sup>	<0,060±0,001 <sup>d</sup>	<0,056±0,001 <sup>c</sup>	<0,048±0,001 <sup>b</sup>	<0,037±0,001 <sup>a</sup>	<0,001
L-Acide lactique (g/100g)	I	0,73±0,05 <sup>a,b</sup>	0,79±0,05 <sup>b,c</sup>	0,71±0,03 <sup>a</sup>	0,75±0,05 <sup>a,b</sup>	0,84±0,01 <sup>c</sup>	<0,05
	II	0,60±0,05 <sup>b</sup>	0,66±0,07 <sup>b</sup>	0,46±0,06 <sup>a</sup>	0,70±0,03 <sup>b,c</sup>	0,80±0,11 <sup>c</sup>	<0,01
L-Acide lactique (g/100g bs)	I	3,08±0,17 <sup>c</sup>	3,39±0,27 <sup>c</sup>	2,61±0,12 <sup>b</sup>	2,42±0,16 <sup>b</sup>	2,06±0,04 <sup>a</sup>	<0,05
	II	2,61±0,13 <sup>c</sup>	2,81±0,32 <sup>c</sup>	1,83±0,21 <sup>a</sup>	2,38±0,10 <sup>b,c</sup>	2,10±0,35 <sup>a,b</sup>	<0,01

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; bs: base sèche; nd: non déterminé; p : probabilité



Tableau 13 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur B (suite)

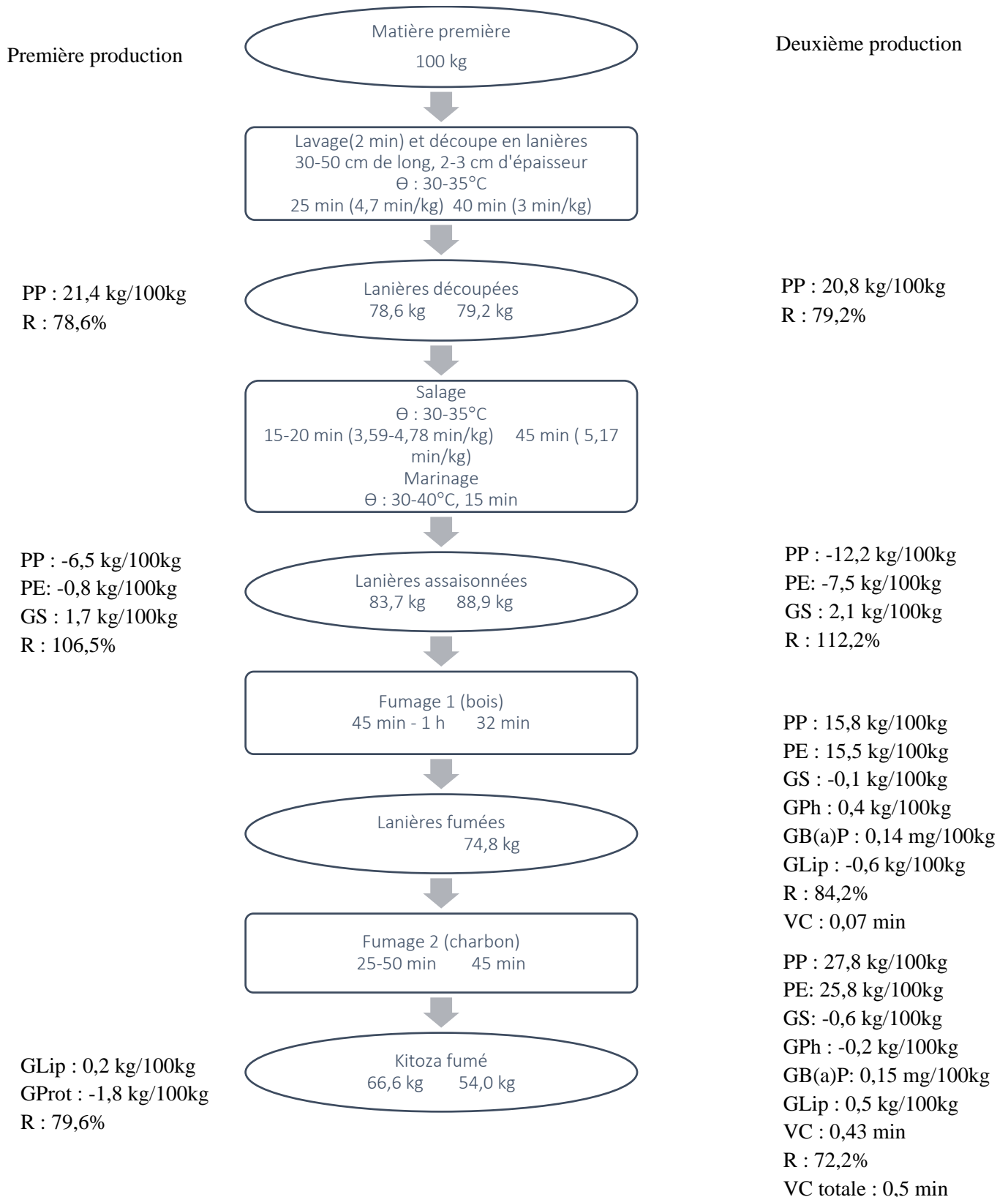
Paramètres (unité de mesure)		Matière première	Découpe en lanières	Ajout d'ingrédients et mélange	Fumage 1	Fumage 2	p
Glucose (g/100g)	I	0,072±0,024 <sup>a</sup>	0,251±0,001 <sup>d</sup>	0,227±0,005 <sup>d</sup>	0,195±0,003 <sup>c</sup>	0,145±0,017 <sup>b</sup>	<0,001
	II	0,080±0,029 <sup>a,b</sup>	0,061±0,058 <sup>a</sup>	0,164±0,038 <sup>b,c</sup>	0,390±0,020 <sup>d</sup>	0,195±0,080 <sup>c</sup>	<0,001
Glucose (g/100g bs)	I	0,301±0,095 <sup>a</sup>	1,070±0,023 <sup>d</sup>	0,828±0,019 <sup>c</sup>	0,630±0,006 <sup>b</sup>	0,357±0,038 <sup>a</sup>	<0,001
	II	0,346±0,122 <sup>a,b</sup>	0,263±0,257 <sup>a</sup>	0,653±0,158 <sup>b</sup>	1,322±0,065 <sup>c</sup>	0,507±0,197 <sup>a,b</sup>	<0,001
Phénols (mg/100g)	I	0,04±0,06 <sup>a</sup>	ND	ND	0,06±0,04 <sup>a</sup>	0,19±0,05 <sup>b</sup>	<0,05
	II	ND			0,44±0,04 <sup>a</sup>	0,40±0,04 <sup>a</sup>	0,22
Phénols (mg/100g bs)	I	1,05±1,03 <sup>a</sup>	ND	ND	1,02±0,62 <sup>a</sup>	2,34±0,70 <sup>a</sup>	0,15
	II	ND			1,48±0,15 <sup>b</sup>	1,05±0,07 <sup>a</sup>	≤0,010
HAP (μg/kg)	B(a)A	ND	ND	ND	11,99±4,40 <sup>a</sup>	9,28±5,53 <sup>a</sup>	0,54
					2,55±0,05 <sup>a</sup>	3,40±0,34 <sup>b</sup>	<0,05
	B(b)F	ND	ND	ND	6,99±1,91 <sup>a</sup>	3,41±2,18 <sup>a</sup>	0,099
					1,35±0,03 <sup>a</sup>	1,69±0,12 <sup>b</sup>	<0,01
	B(a)P	ND	ND	ND	1,01±0,34 <sup>a</sup>	1,60±0,16 <sup>a</sup>	0,061
					1,70±0,07 <sup>a</sup>	2,06±0,21 <sup>b</sup>	<0,05
TBARS (mgMDA/kg)	I	0,04±0,01 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	0,35±0,02 <sup>a</sup>	1,35±0,22 <sup>b</sup>	5,01±0,83 <sup>c</sup>	<0,001
	II	0,39±0,12 <sup>a</sup>	0,39±0,08 <sup>a</sup>	0,34±0,03 <sup>a</sup>	0,41±0,17 <sup>a</sup>	0,33±0,09 <sup>a</sup>	0,86

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; p : probabilité ; n = 3 échantillons ; les moyennes ont été calculées avec les échantillons ayant une valeur supérieure ou égale au seuil de détection ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même ligne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes.

Les teneurs en B(a)P sont conformes à la réglementation française (2 μg/kg en Septembre 2014, CE, 2011). La teneur en sel augmente de manière significative après le salage et jusqu'à la fin du procédé. Ainsi l'Aw diminue au cours du processus. Aucun signe de fermentation n'a été décelé (les teneurs en acide D-lactique et en acidité titrable bs n'ont pas augmenté et la teneur en glucose et le pH n'ont pas diminué) en dépit de l'ajout de sucre.

La valeur de TBARS dans la matière première est faible et, à la fin du processus, après l'étape de fumage, elle a augmenté de manière significative pour la première production. Il n'y a pas de différences notables entre les 2 productions.

### Chapitre 3 : Evaluation des procédés de fabrication du kitoza



PP : perte en poids, PE : perte en eau, GS : gain en sel, GPh : gain en phénol, GB(a)P, gain en B(a)P, GLip : gain en lipides, GProt : gain en protéines, VC : valeur cuisatrice ;  $\Theta$  : température, R : rendement

Figure 13 : Diagramme de fabrication traditionnelle chez le producteur B et données aux différentes étapes

Les pertes en poids après la découpe en lanières sont de 21,4 kg/100kg (I) et 20,8 kg/100kg (II) (figure 13, p. 76).

Les rendements des deux productions après le salage sont proches : 103,6% (I) et 102,5% (II). Après le salage, une perte en poids négative (c'est-à-dire un gain en poids) s'accompagnant de gains en eau et en sel est observée pour chaque production (figure 13, p. 76).

Après cette phase de fumage, lors de la 2<sup>ème</sup> production, des pertes en poids de 15,8 kg/100kg ainsi qu'une perte en eau de 15,5 kg/100kg ont été enregistrées. Des gains en phénols et en B(a)P ont été observés (0,4 kg/100kg et 0,14 mg/100kg respectivement). Les gains en lipides (-0,6 kg/100kg) et en sel (-0,1 kg/100kg) négatives sont des pertes.

A la fin de l'étape de cuisson, lors de la 2<sup>ème</sup> production, des pertes en poids et en eau de 27,8 kg/100kg et 25,8 kg/100kg respectivement ont été notées. Dans le produit fini, les gains en lipides sont de l'ordre de 0,2 kg/100kg (I) et 0,5 kg/100kg (II) (figure 13, p. 76).

L'étape de fumage permet la combinaison d'opérations unitaires de séchage et de cuisson. Cette combinaison a été plus marquée dans la 2<sup>ème</sup> phase avec du charbon. Aucune différence significative n'a été notée entre les teneurs en phénols de la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> phase de fumage même si les durées d'exposition sont différentes (45 – 35 min et 50 – 40 min).

### 3.2.2.2 Caractéristiques microbiologiques

Le tableau 14 récapitule les caractéristiques microbiologiques des échantillons prélevés chez le producteur B.

Tableau 14 : Résultats des analyses microbiologiques aux différentes étapes d'échantillonnage chez le producteur B

Microorganismes (log cfu/g)		Matière première	Découpe en lanières	Salage	Fumage 1	Fumage 2	P
FAMT	1	7,0±0,1 <sup>d</sup>	5,7±0,1 <sup>c</sup>	5,5±0,1 <sup>b</sup>	7,7±0,1 <sup>e</sup>	3,5±0,1 <sup>a</sup>	<0,001
	2	6,1±0,3 <sup>c</sup>	6,6±0,2 <sup>d</sup>	6,6±0,2 <sup>d</sup>	5,5±0,1 <sup>b</sup>	5,1±0,1 <sup>a</sup>	<0,001
<i>E. coli</i>	1	3,5±0,2 <sup>d</sup>	3,3±0,2 <sup>b,c</sup>	3,0±0,2 <sup>b</sup>	3,2±0,1 <sup>a,b</sup>	<1 <sup>a</sup>	<0,001
	2	3,7±0,8 <sup>c</sup>	2,8±0,1 <sup>b</sup>	2,9±0,3 <sup>b</sup>	2,9±0,2 <sup>b</sup>	<1 <sup>a</sup>	<0,001
Bactéries lactiques	1	6,6±0,1 <sup>c</sup>	6,3±0,2 <sup>b,c</sup>	6,1±0,2 <sup>b</sup>	7,5±0,2 <sup>d</sup>	2,4±0,1 <sup>a</sup>	<0,001
	2	5,4±0,3 <sup>b</sup>	5,8±0,1 <sup>c</sup>	5,9±0,1 <sup>c</sup>	5,9±0,2 <sup>c</sup>	4,0±0,1 <sup>a</sup>	<0,001
<i>Salmonella</i>	1	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	
	2						

1 : 1<sup>ère</sup> production ; 2 : 2<sup>ème</sup> production; p : probabilité ; n = 3 échantillons ; les moyennes ont été calculées avec les échantillons ayant une valeur supérieure ou égale au seuil de détection ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même ligne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes.

Les concentrations des microorganismes augmentent au cours de l'étape de séchage. Cette étape dure 45 min à 1 h à 70-150°C, ce qui devrait freiner le développement des microorganismes voire de les tuer.

Lors de la 2<sup>ème</sup> production, la charge microbienne augmente après la découpe. Le nombre de bactéries n'a pas augmenté de manière significative après addition du sel et des différents ingrédients. Aucun germe pathogène n'a été détecté dans le produit fini.

### **3.2.3 Producteur C**

#### **3.2.3.1 Description des étapes et caractéristiques physico-chimiques**

La matière première utilisée est la chair de porc, en particulier le jambon. Le responsable du site achète la viande le matin chez le grossiste et le transport se fait à la température ambiante (15-20°C à Antananarivo à ce moment de la journée) par moto dans des sachets en plastique.

Le producteur C ne produit pas de kitoza de bœuf car celui-ci est soumis à une dessiccation plus importante lors de l'étape de fumage et reviendrait donc plus cher.

La découpe en lanières se fait directement sur la paille nette. Selon le producteur, la viande de porc n'est pas lavée pour qu'elle ne perde pas sa couleur. La viande est parée en enlevant la graisse et les tendons de la chair (figure 14a, p. 80). Les morceaux de viande retirés représentent environ 4 à 5% de la masse initiale. Des lanières de 20 à 30 cm de long et 3 à 5 cm d'épaisseur sont directement découpées perpendiculairement aux fibres de la viande (figure 14b, p. 80). Cette étape dure 5 à 10 minutes à la température ambiante (environ 22°C).

Les ingrédients sont pesés. Pendant ce temps, les lanières sont laissées dans une cuvette à l'air libre (2 min). La viande et les ingrédients sont ensuite mélangés manuellement dans la cuvette pendant 2 min (figure 14c, p. 80). Il n'y a ni marinage, ni étape de séchage puisque la viande de porc est déjà tendre.

Une fois l'assaisonnement terminé, le feu est allumé. Cependant, l'allumage (de tous les morceaux de charbon) peut prendre 30 min au cours desquelles les lanières restent dans un bol à la température ambiante (22°C).

Le volume de charbon utilisé a été estimé en connaissant les dimensions du « fatapera » (foyer artisanal). En ce qui concerne les copeaux de bois, 4 poignées (environ 300 g) ont été utilisées.

Pour allumer le feu, l'opérateur met des petits morceaux de bois dans un fatapera, puis du charbon au-dessus (figure 14d, p. 80). Une fois le feu allumé, l'opérateur se lave les mains au savon et les lanières sont fixées aux crochets qui sont ensuite placés sur des barres transversales espacées de 10 cm les unes des autres.

Une représentation schématique du fumoir est donnée sur la figure 15 (p. 81).

*Chapitre 3 : Evaluation des procédés de fabrication du kitoza*



a) Parage de la viande



b) Découpe en lanières



c) Ajout d'ingrédients et mélange



d) Copeaux de bois sur la plaque en fer



e) Lanières de viande dans le fumoir



f) Fumoir en fût vu de dessus



g) Fumoir en fût vue de face

Figure 14 : Etapes de la production de kitoza chez le producteur C

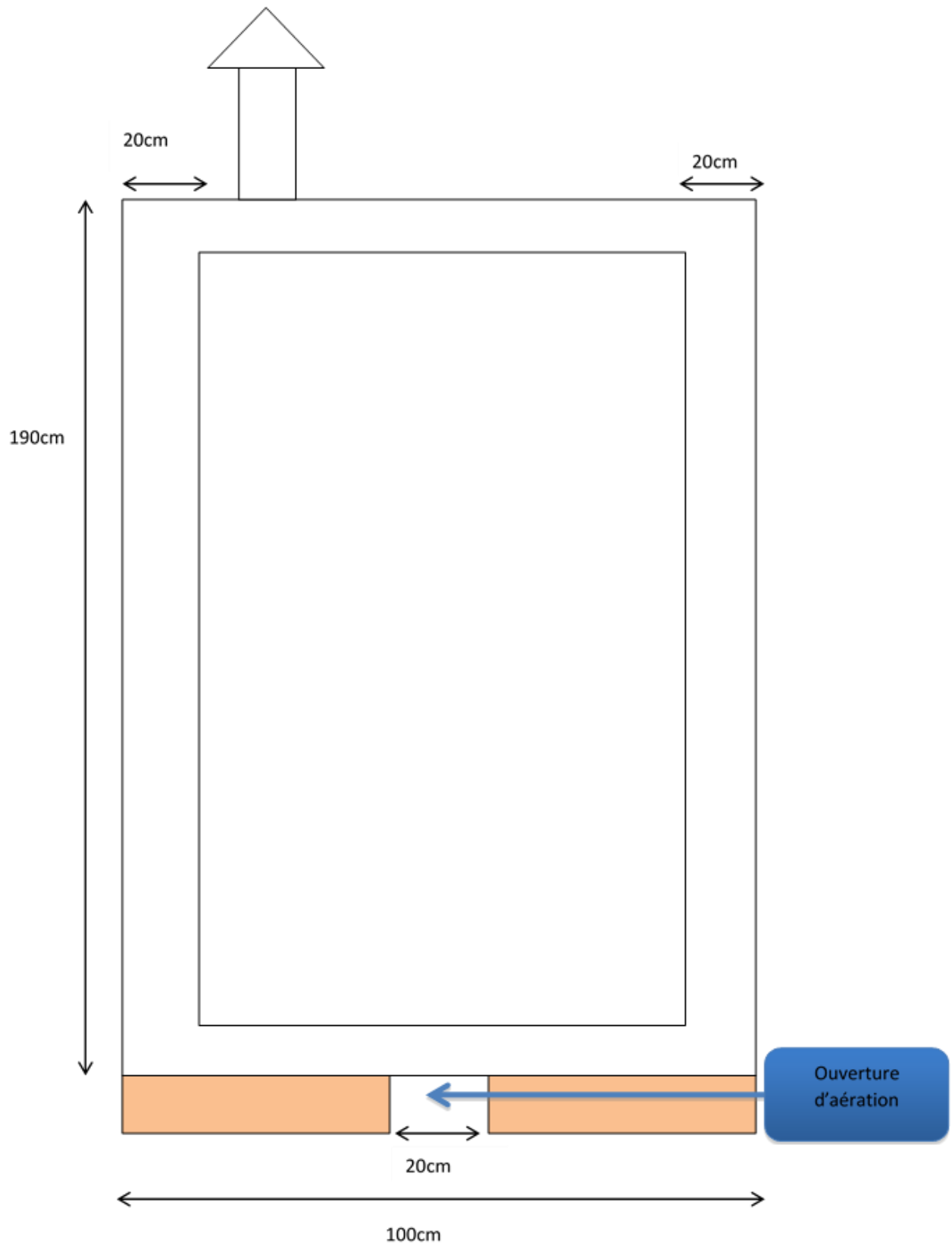


Figure 15 : Représentation schématique du fumoir du producteur C vu de face

L'atelier dispose également d'un fumoir en fût métallique (figure 14f et 14g, p 80) qui n'est utilisé que pour les petites commandes lorsque le fumoir n'est plus allumé.

Le fumage est effectué en 2 phases : une opération de cuisson à l'aide du foyer allumé placé dans le fumoir et une opération de fumage au cours de laquelle des copeaux de bois sont ajoutés afin d'obtenir de la fumée. Les lanières sont placées à 1,10 m au-dessus du foyer allumé.

Lors de la 1<sup>ère</sup> production, la température de fumage a été mesurée avec un thermomètre (-50 à 250°C) placé à côté des lanières de kitoza. Au cours de cette étape, la température à l'intérieur du fumoir est de 200°C.

L'évolution des températures lors de la 2<sup>ème</sup> production pendant le fumage est représentée sur les figures 16 et 17 (p. 82 et 83).

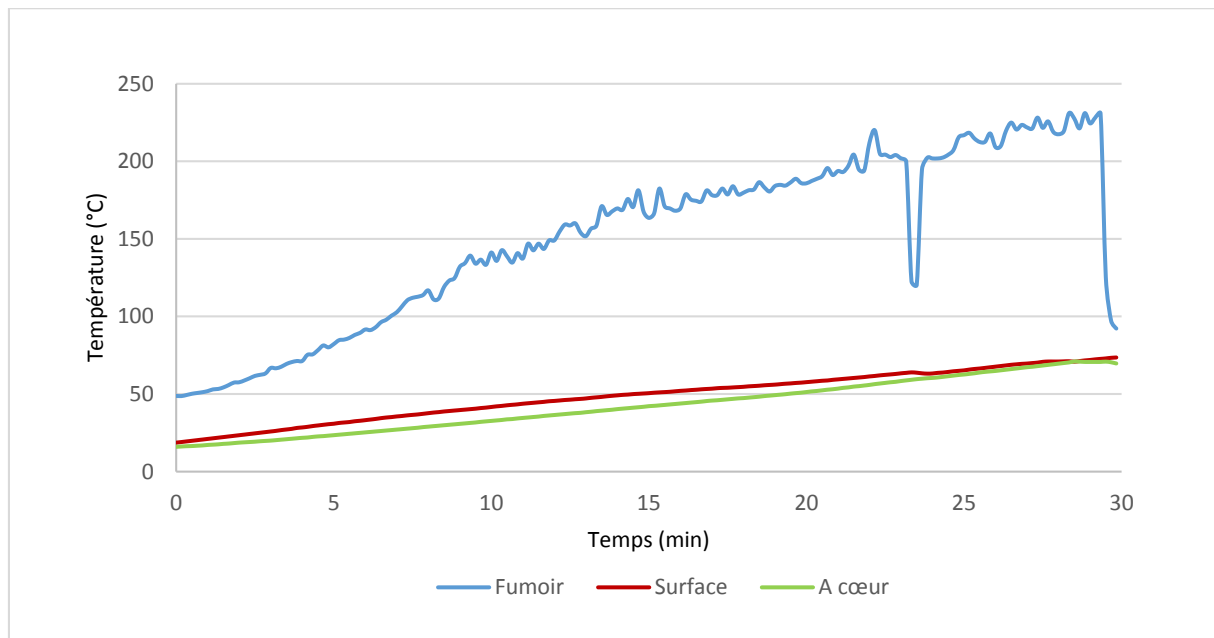


Figure 16 : Evolution des températures lors de la cuisson chez le producteur C

Lors du 2<sup>ème</sup> relevé, la température d'attaque est passée progressivement de 49 à 231°C. La température à cœur des lanières a augmenté linéairement de 16 à 71°C durant cette étape, ce qui permet de faire une cuisson. Cette première étape dure 30 min en moyenne. Cette opération est contrôlée par l'ouverture du fumoir et l'observation des lanières toutes les 10 à 15 min, car la qualité du charbon est variable.

Une fois la viande cuite, l'opérateur met 4 poignées de copeaux de bois dans le foyer afin de donner la saveur et l'odeur fumée du produit. Les copeaux sont disposés sur une plaque en fer («tsikalapatana») au-dessus du charbon (figure 14e, p. 80). Cette opération doit être bien



contrôlée. L'opérateur doit s'assurer que de la fumée est bien produite dans le fumoir et que des flammes n'apparaissent pas. Si les copeaux s'embrasent, les lanières seront brûlées. Des copeaux sont ajoutés si nécessaire. Cette étape dure 20 à 30 min, et permet d'obtenir la couleur rouge de kitoza.

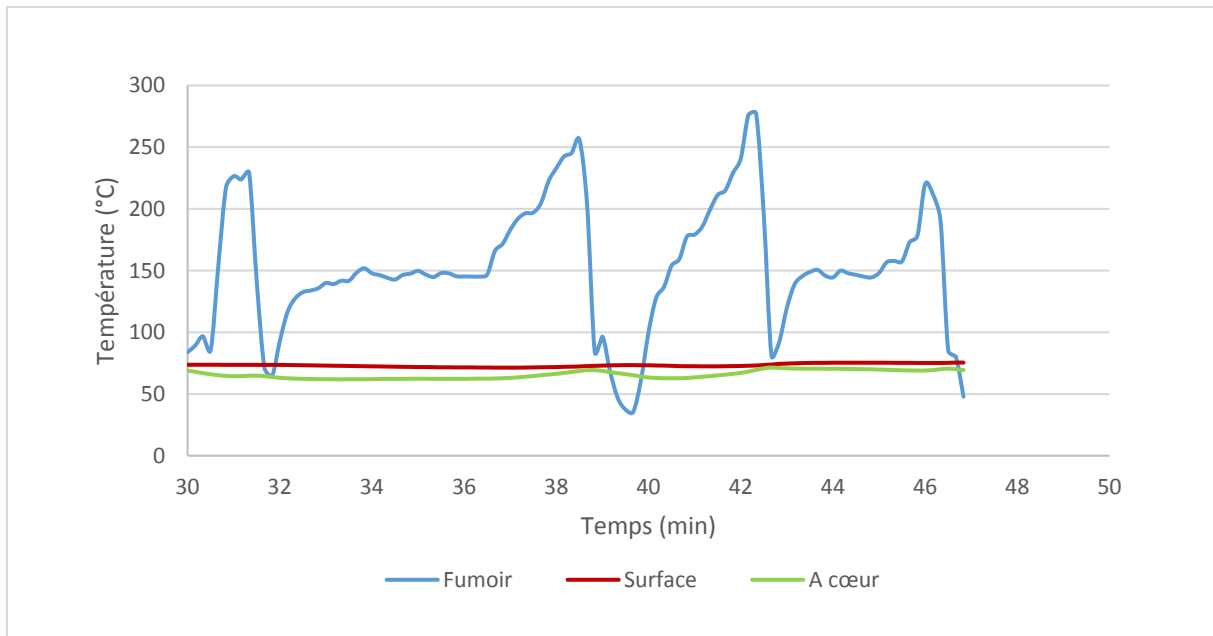


Figure 17 : Evolution des températures lors du fumage chez le producteur C

La température à cœur des lanières durant l'étape de fumage va de 62 à 71,4°C. La température d'attaque durant cette étape peut atteindre 277°C mais des fluctuations de température sont observées du fait que la porte du fumoir est souvent ouverte pour contrôler la combustion des copeaux.

Une fois que la viande est correctement fumée, le foyer est retiré du fumoir et l'intérieur est refroidi par ouverture de la porte, de sorte que les crochets avec le produit final peuvent être enlevés par l'opérateur.

Les différentes analyses physico-chimiques des échantillons ont été effectuées et les résultats sont donnés dans le tableau 15 (p. 84). La figure 18 (p. 86) montre le diagramme de fabrication du kitoza chez le producteur C.

Tableau 15 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur C

Paramètres (unité de mesure)		Matière première	Découpe en lanières	Ajout d'ingrédients et mélange	Fumage	p
Lipides (g/100g)	I	8,4±4,0 <sup>a</sup>	ND	ND	12,9±8,2 <sup>a</sup>	0,44
	II	20,9±9,6 <sup>a</sup>			7,4±1,9 <sup>a</sup>	0,074
Lipides (g/100g bs)	I	30,1±11,8 <sup>a</sup>	ND	ND	33,9±21,8 <sup>a</sup>	0,80
	II	79,2±36,7 <sup>a</sup>			19,9 ±5,0 <sup>a</sup>	≤0,05
Protéines (g/100g)	I	20,8±1,1 <sup>a</sup>	ND	ND	26,4±0,8 <sup>b</sup>	<0,01
	II	ND			ND	
Protéines (g/100g bs)	I	75,9±3,6 <sup>a</sup>	ND	ND	69,4±1,5 <sup>b</sup>	<0,05
	II	ND			ND	
Eau (g/100g)	I	72,6±2,1 <sup>c</sup>	66,8±5,0 <sup>b,c</sup>	55,8±3,6 <sup>a</sup>	62,0±0,3 <sup>a,b</sup>	<0,01
	II	73,5±0,3 <sup>c</sup>	69,8±1,5 <sup>b</sup>	63,5±0,6 <sup>a</sup>	62,8±0,3 <sup>a</sup>	<0,001
Sel (g/100g)	I	ND	ND	1,18±0,16 <sup>a</sup>	1,87±0,32 <sup>b</sup>	<0,05
	II			1,57±0,12 <sup>a</sup>	1,54±0,07 <sup>a</sup>	0,82
Aw	I	0,994±0,011 <sup>a</sup>	0,988±0,014 <sup>a</sup>	0,999±0,001 <sup>a</sup>	0,978±0,014 <sup>a</sup>	0,20
	II	0,990±0,001 <sup>c</sup>	0,989±0,001 <sup>c</sup>	0,981±0,001 <sup>b</sup>	0,977±0,001 <sup>a</sup>	<0,001
pH	I	6,78±0,06 <sup>c</sup>	6,56±0,01 <sup>b</sup>	6,10±0,13 <sup>a</sup>	6,22±0,03 <sup>a</sup>	<0,001
	II	5,91±0,09 <sup>b</sup>	5,93±0,11 <sup>b</sup>	5,68±0,07 <sup>a</sup>	5,70±0,01 <sup>a</sup>	<0,01
Acidité titrable (meq/100g)	I	5,1±0,4 <sup>a</sup>	7,8±2,8 <sup>a</sup>	10,0±8,2 <sup>a</sup>	11,0±0,3 <sup>a</sup>	0,41
	II	7,0±1,3 <sup>a</sup>	7,4±0,7 <sup>a</sup>	7,9±0,6 <sup>a</sup>	11,3±1,5 <sup>b</sup>	<0,01
Acidité titrable (meq/100g bs)	I	18,8±2,69 <sup>a</sup>	23,9±9,3 <sup>a</sup>	22,6±18,0 <sup>a</sup>	28,8±0,6 <sup>a</sup>	0,70
	II	26,3±4,9 <sup>a,b</sup>	24,3±1,3 <sup>a,b</sup>	21,3±1,8 <sup>a</sup>	30,3±4,2 <sup>b</sup>	0,074
D-Acide lactique (g/100g)	I	0,020±0,008 <sup>a *</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	<0,014 <sup>a</sup>	0,33
	II	0,017±0,005 <sup>a,b *</sup>	<0,014 <sup>b</sup>	0,017 <sup>a,b **</sup>	0,021±0,002 <sup>b</sup>	0,13
D-Acide lactique (g/100g bs)	I	0,064±0,015 <sup>b *</sup>	<0,043±0,006 <sup>a</sup>	<0,032±0,002 <sup>a</sup>	<0,037±0,000 <sup>a</sup>	<0,01
	II	0,064±0,016 <sup>a *</sup>	<0,043±0,007 <sup>a</sup>	0,047±0,014 <sup>a **</sup>	0,057±0,005 <sup>a</sup>	0,19
L-Acide lactique (g/100g)	I	0,25±0,02 <sup>a</sup>	0,30±0,02 <sup>a</sup>	0,40±0,02 <sup>b</sup>	0,60±0,05 <sup>c</sup>	<0,001
	II	0,56±0,10 <sup>a</sup>	0,61±0,03 <sup>a</sup>	0,70±0,05 <sup>a,b</sup>	0,83±0,20 <sup>b</sup>	0,07
L-Acide lactique (g/100g bs)	I	0,93±0,09 <sup>a</sup>	0,90±0,16 <sup>a</sup>	0,92±0,14 <sup>a</sup>	1,57±0,11 <sup>b</sup>	<0,001
	II	2,11±0,38 <sup>a</sup>	2,01±0,01 <sup>a</sup>	1,93±0,10 <sup>a</sup>	2,24±0,54 <sup>a</sup>	0,69

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; p : probabilité ; n = 3 échantillons

Tableau 15 : Caractéristiques physico-chimiques durant le procédé chez le producteur C (suite)

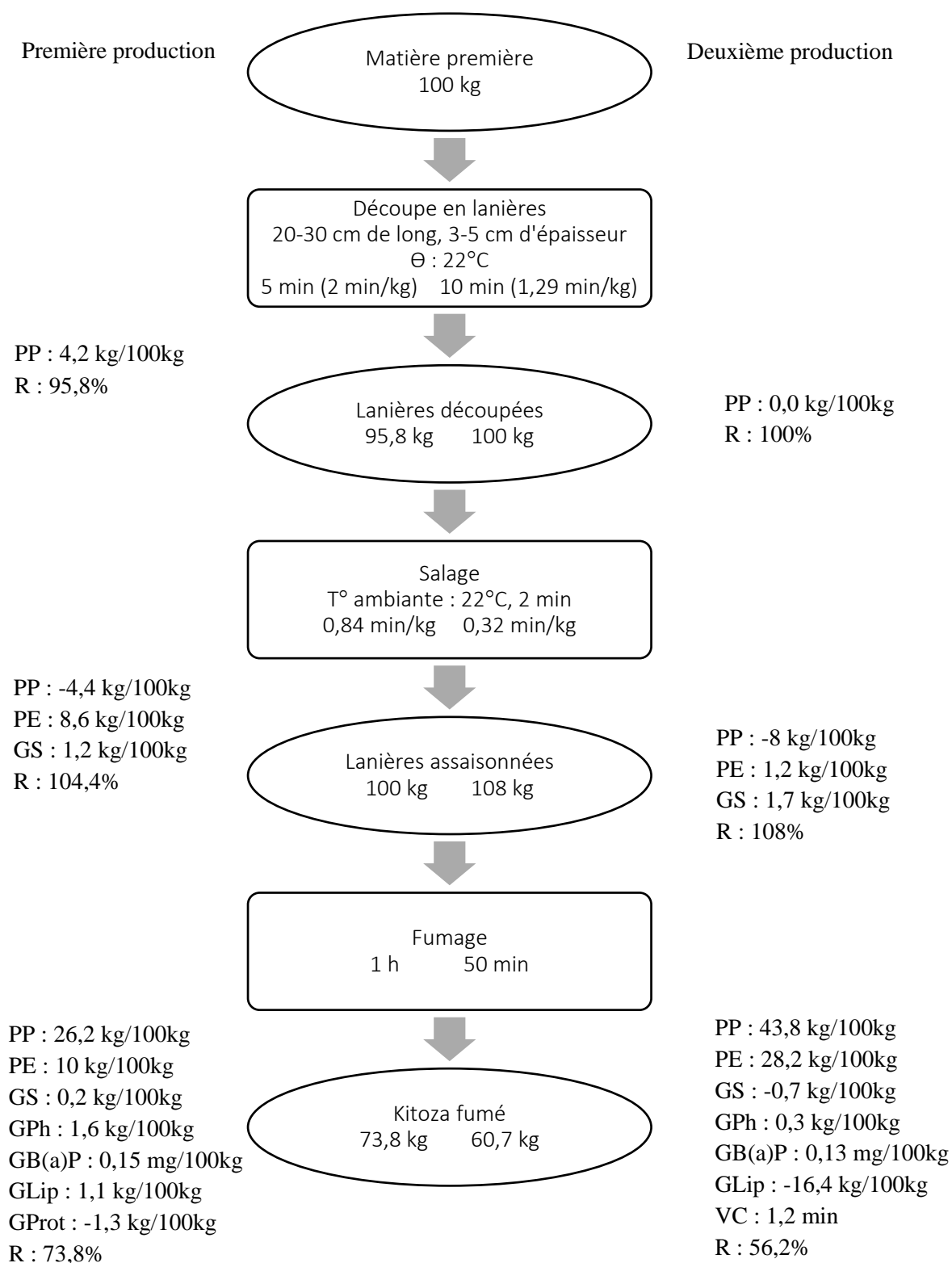
Paramètres (unité de mesure)		Matière première	Découpe en lanières	Ajout d'ingrédients et mélange	Fumage	p
Glucose (g/100g)	I	<0,005 <sup>a</sup>	0,029±0,002 <sup>b</sup>	0,036±0,002 <sup>b</sup>	0,050±0,009 <sup>c</sup>	<0,001
	II	0,069±0,019 <sup>a</sup>	0,081±0,012 <sup>a</sup>	0,136±0,019 <sup>b</sup>	0,169±0,003 <sup>c</sup>	<0,001
Glucose (g/100g bs)	I	<0,018±0,001 <sup>a</sup>	0,089±0,008 <sup>b</sup>	0,082±0,011 <sup>b</sup>	0,131±0,022 <sup>c</sup>	<0,001
	II	0,260±0,069 <sup>a</sup>	0,266±0,029 <sup>a</sup>	0,374±0,049 <sup>b</sup>	0,456±0,010 <sup>b</sup>	<0,01
Phénols (mg/100g)	I	0,01±0,02 <sup>a</sup>	ND	ND	2,14±0,25 <sup>b</sup>	<0,001
	II	ND			0,60±0,11	
Phénols (mg/100g bs)	I	0,05±0,09 <sup>a</sup>	ND	ND	5,62±0,66 <sup>b</sup>	<0,001
	II	ND			1,62±0,29	
HAP (µg/kg)	B(a)A	ND	ND	ND	14,49±1,88	
					2,72±0,26	
	B(b)F	ND	ND	ND	94,30±23,88	
					6,57±0,63	
	B(a)P	ND	ND	ND	1,97±0,20	
					2,38±0,21	
TBARS (mg MDA/kg)	I	0,02±0,00 <sup>a</sup>	0,02±0,00 <sup>a</sup>	0,21±0,00 <sup>b</sup>	0,02±0,03 <sup>a</sup>	<0,001
	II	0,14±0,01 <sup>a</sup>	0,10±0,04 <sup>a</sup>	0,92±0,26 <sup>b</sup>	0,33±0,10 <sup>a</sup>	<0,001

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; p : probabilité ; n = 3 échantillons ; les moyennes ont été calculées avec les échantillons ayant une valeur supérieure ou égale au seuil de détection ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même ligne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes ;\* 2 échantillons/3 étaient inférieurs au seuil de détection et de la moyenne a été calculée en prenant pour ces échantillons une valeur égale au seuil de détection (0,014 g/100g); \*\* 1 échantillon/3 était inférieur au seuil de détection et de la moyenne a été calculée en prenant pour cet échantillon une valeur égale au seuil de détection (0,014 g / 100g)

Aucune différence significative n'a été trouvée concernant la teneur en lipides (bs) entre la matière première et le produit fumé pour les deux productions. Une diminution de la teneur en eau et de l'Aw a été constatée tout au long du procédé. L'étape de fumage était courte en particulier l'étape avec des copeaux de bois conduisant à de faibles niveaux de phénols, mais les niveaux de HAP étaient conformes à la réglementation française (B(a)P < 2 µg/kg).

Les valeurs de TBARS sont restées faibles tout au long du processus.

Il n'y avait pas de grande différence entre les deux productions, exception faite de la teneur en phénols qui est très faible (0,60 ± 0,11 mg/100 g) pour la seconde production.



PP : perte en poids, PE : perte en eau, GS : gain en sel, GPh : gain en phénol, GB(a)P, gain en B(a)P, GLip : gain en lipides, GProt : gain en protéines, VC : valeur cuisatrice ;  $\Theta$  : température, R : rendement

Figure 18 : Diagramme de fabrication traditionnelle chez le producteur C et données aux différentes étapes

Après la découpe en lanières, une perte en poids de 4,2 kg/100kg a été observée lors de la 1<sup>ère</sup> production, tandis qu'un rendement de 100% a été obtenu lors de la 2<sup>ème</sup> (figure 18, p. 86).

Après le salage, les gains en poids sont de 4,4 kg/100kg (I) et 8 kg/100kg (II) correspondant à la quantité des ingrédients ajoutés. Les rendements à cette étape sont de 104,4% (I) et 108% (II) (figure 18, p. 86).

Les pertes en poids lors du fumage sont de 26,2 kg/100kg (I) et 43,8 kg/100kg (II). Le gain en phénols de la 1<sup>ère</sup> production est plus élevé que celui de la 2<sup>ème</sup> production (1,6 kg/100kg et 0,3 kg/199kg respectivement) mais les gains en B(a)P sont proches (0,15 mg/100kg pour I et 0,13 mg/100kg pour II). Un gain en lipides de 1,1 kg/100kg a été enregistré lors de la 1<sup>ère</sup> production alors qu'une perte en lipides de 16,4 kg/100kg a été observée lors de la 2<sup>ème</sup> production.

### 3.2.3.2 Caractéristiques microbiologiques

La qualité microbiologique des échantillons de porc a été évaluée et les résultats sont donnés dans le tableau 16.

Tableau 16 : Résultats des analyses microbiologiques à différentes étapes d'échantillonnage chez le producteur C

Microorganismes (log cfu/g)		Matière première	Découpe en lanières	Salage	Fumage	p
FAMT	I	6,6±0,2 <sup>b</sup>	7,5±0,2 <sup>c</sup>	6,4±0,1 <sup>b</sup>	3,8±0,3 <sup>a</sup>	<0,001
	II	7,3±0,3 <sup>c</sup>	7,1±0,4 <sup>c</sup>	5,1±0,3 <sup>b</sup>	4,0±0,3 <sup>a</sup>	<0,001
<i>E. coli</i>	I	4,6±0,4 <sup>a</sup>	4,6±0,1 <sup>a</sup>	3,2±0,1 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>	<0,001
	II	1,7±0,2 <sup>b</sup>	1,2±0,2 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a</sup> (n=1)	<1 <sup>a</sup>	<0,001
Bactéries lactiques	I	6,5±0,2 <sup>b</sup>	7,4±0,2 <sup>c</sup>	6,2±0,1 <sup>b</sup>	3,4±0,5 <sup>a</sup>	<0,001
	II	5,5±0,1 <sup>c</sup>	5,2±0,3 <sup>c</sup>	5,5±0,2 <sup>b</sup>	2,2±0,2 <sup>a</sup>	<0,001
<i>Salmonella</i>	I II	Absence	Absence	Absence	Absence	

I : 1<sup>ère</sup> production ; II : 2<sup>ème</sup> production; p : probabilité ; n = 3 échantillons ; les moyennes ont été calculées avec les échantillons ayant une valeur supérieure ou égale au seuil de détection ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même ligne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes.

Aucune différence significative ou une légère augmentation du nombre de bactéries est trouvée entre la matière première et la découpe en lanières. La concentration des microorganismes diminue significativement après le salage et le fumage. *Salmonella* n'a pas été détecté durant tout le procédé.

### **3.2.4 Résultats des entretiens avec le personnel du site**

Les questionnaires des interviews du personnel du site sont donnés en Annexe 3.

#### **3.2.4.1 Ouvrier**

Les propos recueillis auprès des ouvriers concernent le fonctionnement, les matériels utilisés et la qualité du produit.

##### **a) Fonctionnement**

La quantité des produits peut changer à chaque production, cela dépend du (jour) de marché et de la demande. Les intrants (eau, bois) sont toujours suffisants ou manquent très rarement. Les sources d'énergie utilisées à l'atelier sont l'électricité, le bois et le charbon. Aucune tâche n'est difficile à réaliser étant donné que l'ouvrier qui y est affecté est expérimenté.

Les ouvriers ont déclaré qu'il n'y a aucune nuisance durant le procédé (bruit, fumée, chaleur) car ils sont habitués à la chaleur de l'atelier et la fumée ne les dérange pas. La coupure de l'électricité constitue aussi selon eux un problème à la conservation de la viande.

Toujours d'après l'ouvrier, pour le kitoza de bœuf, toutes les étapes peuvent être raccourcies, notamment la découpe en lanières en utilisant un couteau bien aiguisé. Le temps de marinage peut aussi l'être si la viande est assez tendre.

##### **b) Matériels**

Les matériels utilisés lors de la fabrication du kitoza fumé sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Matériels utilisés à chaque étape du procédé

<b>Etapes</b>	<b>Matériels utilisés</b>
Lavage	Cuvette, plateau
Découpe en lanières	Plateau, couteau, planchette, cuvette
Salage (ajout d'ingrédients et mélange)	Cuvette, râpe, balance
Marinage	Réfrigérateur, plateau, cuvette
Fumage	Crochets, fumoir

A part la planche à découper et le couteau, tous les matériels sont des produits importés achetés localement. Le fumoir a été fait sur place et n'est pas démontable. Les outils sont utilisés jusqu'à ce qu'ils soient abîmés ou usés.

c) Qualité du produit

A la fin de chaque étape, le produit est immédiatement traité, sauf parfois pour la découpe car les lanières peuvent être placées au réfrigérateur (+4°C) ou au congélateur à -20°C en attendant le salage. Ceci peut arriver s'il y a d'autres contraintes dans l'atelier et ne concerne que le kitoza de bœuf. Les kitoza sont généralement préparés le matin ou en début d'après-midi. Les produits obtenus à la fin des étapes sont toujours de bonne qualité (découpe homogène, salage correct, goût et arôme fumés, couleur dorée). Pour l'étape de fumage, la durée de l'opération est connue par habitude mais la viande est vérifiée de temps en temps. L'ouvrier du site C a déclaré que le produit final peut parfois être pas assez cuit ou brûlé car la qualité du charbon n'est pas toujours constante.

**3.2.4.2 Responsable de site**

L'entretien a porté sur la matière première et les intrants, la qualité du produit et le fonctionnement de l'atelier.

a) Matière première et intrants

La matière première est récupérée à l'abattoir ou récupérée chez un boucher. La viande est achetée tôt le matin, quelques heures après l'abattage : 2 à 6 h avant transformation pour le kitoza de bœuf et 1 h pour le porc. La viande est placée au réfrigérateur à +4°C si elle est utilisée le jour même sinon elle est stockée au congélateur dans un sachet en plastique.

La qualité de la viande est jugée par sa couleur (rouge) pour les producteurs A et B et l'absence de tendons (tranche fine). Pour le producteur C, une viande de bonne qualité doit être tamponnée par le vétérinaire de l'abattoir.

La qualité de la matière première influence la qualité du produit final. C'est pour cette raison que le muscle de viande est utilisé pour faire du kitoza. Le prix d'achat de la viande peut faire augmenter le prix de vente du produit final et dans ce cas les consommateurs ne pourront pas en acheter. Pour le producteur C, comme il ne peut pas augmenter le prix du kitoza en raison du faible pouvoir d'achat des consommateurs, la production est stoppée à certaines périodes de

l'année (mars-avril, août-septembre) en raison de la pénurie saisonnière (voir synthèse bibliographique §1.1.5, p. 7) de viande et/ou l'augmentation des prix.

b) Qualité et commercialisation du produit

Les responsables de site interrogés ont reconnu avoir des concurrents et ont déclaré que leurs kitoza sont de meilleure qualité par rapport aux autres (B et C) ou ont dit ne pas savoir (A).

Aucune évaluation auprès des consommateurs n'est effectuée par les producteurs pour juger la qualité (attributs) du kitoza. Elle est appréciée par l'aspect visuel, le goût et la texture du produit.

Généralement, le kitoza est vendu dans la journée car la majorité est produite sur commande et les producteurs connaissent la quantité qu'ils peuvent vendre en une journée. Les éventuels invendus sont stockés au réfrigérateur.

Les producteurs envisagent d'élargir leurs points de vente sur le marché local mais ne pensent encore pas exporter.

c) Atelier, moyens humains et outils

Tous les ateliers/boutiques visités ont une existence légale et payent les taxes.

Les visites d'inspection sont effectuées par un médecin vétérinaire (du Ministère de la Santé) qui vient au moins une fois par an. Le personnel employé, formé par le gérant compétent, a acquis de l'expertise.

Tous les producteurs souhaitent améliorer leur atelier mais n'en ont pas les moyens financiers. Néanmoins, les ateliers visités respectent les règles d'hygiène minimales recommandées par le Ministère de la Santé Publique, à savoir le carrelage de la zone de travail et la possession d'un congélateur et d'un carnet de traçabilité de la viande.

Tous les producteurs envisagent d'étendre leur entreprise et de renouveler leurs matériels. Le renouvellement des matériels est coûteux et ne peut se faire que progressivement. Le producteur A aimerait avoir une grande vitrine en verre pour protéger les saucisses de la poussière. Le responsable du site B améliore autant qu'il le peut son atelier en achetant des équipements plus performants (balance, couteaux de cuisine, outils en inox, chambre froide, renouvellement de tuiles, transformation de l'intérieur du fumoir en inox pour l'hygiène et la



maintenance ...). Le producteur C souhaiterait acheter un cutter pour la farce des saucisses. Cela ne concerne pas le kitoza mais c'est un besoin exprimé par le producteur.

Les producteurs ont déclaré n'avoir aucun problème avec le voisinage. Ceux en ville (A et B) restent prudents et l'atelier du producteur en zone périurbaine (C) était déjà installé avant les autres habitations.

### 3.2.4.3 Coûts et dépenses

Afin d'évaluer les dépenses dans la fabrication du kitoza, un tableau des coûts a été établi (tableau 18).

Tableau 18 : Coûts et dépenses engendrés lors de la fabrication du kitoza

Type	Unité	Prix
Electricité	kWh (kilowattheure)	248 Ar/kWh 1 <sup>ère</sup> tranche
		334 Ar/kWh 2 <sup>ème</sup> tranche
		205 Ar/kWh 1 <sup>ère</sup> tranche
		312 Ar/kWh 2 <sup>ème</sup> tranche
Eau	Eau de puits	
	Baril de 200 l	500Ar/baril
	m <sup>3</sup>	360 Ar 1 <sup>ère</sup> tranche 1000 Ar 2 <sup>ème</sup> tranche
Charbon et copeaux de bois	Sac de 1 m de long sur 50 cm de large	11000 à 15000 Ar/sac de charbon
		300 Ar/sac de copeaux de bois
Bûches	Un chargement de pousse-pousse kg	30000 Ar/pousse-pousse
		120 Ar/kg
Ouvriers	Païement mensuel	50000 Ar/mois
	Païement journalier	4000 à 5000 Ar/jour
Matière première	kg	Bœuf : 6800 à 8400 Ar/kg
		Porc : 8000 à 8800 Ar/kg

Tableau 18 : Coûts et dépenses engendrés lors de la fabrication du kitoza (suite)

Type	Unité	Prix
Autres ingrédients	Sel en poudre : paquet de 200 g	Sel : 150 Ar/paquet
	Huile : l	Huile : 5000 Ar/l
	Gingembre : kg	Gingembre : 1000 – 4400 Ar/kg
	Sucre : kg	Sucre : 2500 Ar/kg
	Papaye : unité	Papaye : 1000 Ar/unité
	Ail : kg ou kapoaka	Ail : 3000 Ar/kg - 900 Ar/kapoaka
	Salpêtre : paquet de 100 g	Salpêtre : 1200 Ar/kg
	Sel nitrité : paquet de 50g	Sel nitrité : 3000 Ar/paquet
	4 épices : paquet de 250g	4 épices : 250 Ar/paquet
	Cube de bouillon : unité (10g)	Cube de bouillon : 150 Ar/unité
Kitoza fumé	Kg	Kitoza de boeuf: 25000 – 40000 Ar/kg
		Kitoza de porc: 20000 Ar/kg

Monnaie locale: Ar ; taux de conversion : 1 € = 3000 Ar

La facture de l'électricité est répartie en deux tranches (grilles indiciaires de consommation). Les 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> tranches se chiffrent à 248 Ar – 334 Ar/kWh dans les zones urbaines et 205 Ar – 312 Ar/kWh dans les zones périurbaines.

Le prix du sac de charbon varie de 11 000 à 15 000 Ar selon la taille du sac. Le salaire des ouvriers varie de 5 000 Ar/j à 50 000 Ar/mois. Le coût des ingrédients utilisés est pratiquement le même pour tous les producteurs. Les ateliers A et C n'ont pas l'eau courante et utilisent des barils pour stocker l'eau du robinet ou du puits. L'eau du puits est additionnée de « Sûr'eau » qui est une solution d'hypochlorite de sodium pour le traitement de l'eau.

### **3.3 IDENTIFICATION DES STAPHYLOCOQUES A COAGULASE NEGATIVE DANS LES PRODUITS FINIS**

Les staphylocoques à coagulase négative (SCN) avec les bactéries lactiques appartiennent aux flores d'intérêt technologique. Les SCN contribuent au développement de la flaveur et de la couleur des produits carnés fermentés et/ou séchés et limitent l'oxydation lipidique (Talon *et al.*, 1999 ; Garcia-Varona *et al.*, 2000 ; Barrière *et al.*, 2001 ; Comi *et al.*, 2005 ; Simanovà *et al.*, 2006). En outre, ils libèrent des bactériocines qui exercent

leur activité contre des bactéries pathogènes comme *Escherichia coli* et *Salmonella* (Papamanoli *et al.*, 2002).

Les analyses ont été faites sur 54 échantillons de produits finis obtenus lors des récoltes de 2011. Ces échantillons ont été récoltés dans les zones urbaine, périurbaine et rurale d'Antananarivo : 27 de kitoza de bœuf (13 fumés, 14 séchés) et 27 de kitoza de porc (14 fumés, 13 séchés). Des SCN ont été trouvés à une concentration de 5 à 7 log CFU/g dans 54 échantillons de produits finis (kitoza séchés et fumés de bœuf et de porc). L'identification des espèces de SCN à partir de 829 isolats (423 à partir d'échantillons de kitoza de bœuf et 406 de kitoza de porc) a pu mettre en évidence 9 espèces. Les inventaires des espèces de SCN selon la matière première et les types de kitoza sont présentés dans les tableaux 19 et 20 (p 97 et 98).

Tableau 19 : Inventaire des espèces de staphylocoques à coagulase négative dans les kitoza de bœuf et de porc

<i>Staphylococcus</i>	<b>Total</b>	<b>Bœuf</b>	<b>Porc</b>
Isolats	829	423	406
<i>S. saprophyticus</i>	504 (60,8)	308 (72,8)	196 (48,3)
<i>S. xylosus</i>	94 (11,3)	41 (9,7)	53 (13,1)
<i>S. succinus</i>	81 (9,8)	28 (6,6)	53 (13,1)
<i>S. equorum</i>	68 (8,2)	8 (1,9)	60 (14,8)
<i>S. epidermidis</i>	35 (4,2)		35 (8,6)
<i>S. kloosii</i>	21 (2,5)	20 (4,7)	1 (0,2)
<i>S. sciuri</i>	13 (1,6)	8 (1,9)	5 (1,2)
<i>S. warneri</i>	10 (1,2)	10 (2,4)	
<i>S. vitulinus</i>	3 (0,4)		3 (0,7)

Les nombres entre parenthèses représentent les nombres d'isolats en pourcentage par rapport au total

Pour chaque échantillon, une à cinq espèces ont été identifiées, mais pour la majorité des échantillons deux espèces étaient codominantes (données non affichées). En ce qui concerne la diversité des espèces de SCN, nous avons identifié 7 espèces dans le kitoza de bœuf et 8 dans le kitoza de porc avec 6 espèces en commun. *Staphylococcus saprophyticus* (60,8%),

*Staphylococcus xylosus* (11,3%), *Staphylococcus succinus* (9,8%) et *Staphylococcus equorum* (8,2%) étaient les espèces dominantes.

Tableau 20 : Diversité des espèces de staphylocoques à coagulase négative dans les kitoza séchés et fumés de bœuf et de porc

<i>Staphylococcus</i>	Bœuf fumé	Bœuf séché	Porc fumé	Porc séché
Isolats	229	194	210	196
<i>S. saprophyticus</i>	167 (72,9)	141 (72,7)	49 (23,3)	147 (75,0)
<i>S. xylosus</i>	22 (9,6)	19 (9,8)	20 (9,5)	33 (16,8)
<i>S. succinus</i>	19 (8,3)	9 (4,6)	48 (22,9)	5 (2,6)
<i>S. equorum</i>	6 (2,6)	2 (1,0)	55 (26,2)	5 (2,6)
<i>S. epidermidis</i>			35 (16,7)	
<i>S. kloosii</i>	1 (0,4)	19 (9,8)	1 (0,5)	
<i>S. sciuri</i>	4 (1,7)	4 (2,1)		5 (2,6)
<i>S. warneri</i>	10 (4,3)			
<i>S. vitulinus</i>			2 (1,0)	1 (0,5)

Les nombres entre parenthèses représentent les nombres d'isolats en pourcentage par rapport au total

Les pourcentages de *S. saprophyticus* (environ 73%) et *S. xylosus* (environ 10%) étaient similaires dans les kitoza de boeuf fumés et séchés, tandis qu'ils étaient plus élevés, en particulier pour *S. saprophyticus* (75%), dans les kitoza de porc séchés que ceux fumés (23,3%). Les pourcentages de *S. succinus* (22,9%) et *S. equorum* (26,2%) étaient assez proches et les plus élevés dans les kitoza de porc fumés, alors que la moyenne de ces deux espèces était basse dans les kitoza de bœuf et les kitoza séchés de porc. *S. epidermidis* (16,7%) était identifié uniquement dans les kitoza de porc fumés. *S. kloosii* n'était pas retrouvé dans les kitoza de porc séchés mais avait un pourcentage non négligeable (9,8%) dans les kitoza de bœuf séchés et représentait une population mineure dans les kitoza fumés de bœuf et de porc. *S. sciuri* n'était pas identifié dans les kitoza de porc fumés. *S. warneri* était retrouvé uniquement dans les kitoza de bœuf fumés et *S. vitulinus* représentait une population mineure dans les kitoza de porc uniquement.

### **3.4 DISCUSSION**

#### **Sur le choix des producteurs**

Les producteurs choisis sont ceux qui dès le départ ont manifesté leur volonté à collaborer et dont les produits comptent parmi les plus appréciés lors des tests hédoniques. Nous avons choisi de travailler avec un producteur pour chaque type de kitoza (bœuf fumé et porc fumé). Mais pour avoir des résultats plus concluants, nous avons ajouté un producteur de kitoza de bœuf de plus, car la viande de bœuf est la matière première la plus utilisée que ce soit chez les artisans ou les producteurs pour autoconsommation. Les trois ateliers de transformation ne sont peut-être pas représentatifs mais compte tenu du volume important du travail à effectuer et de la disponibilité des producteurs ainsi que des raisons citées plus haut, nous avons décidé de nous arrêter à ces producteurs. Dans les travaux futurs, il serait intéressant d'enquêter auprès de producteurs de kitoza dans d'autres régions de Madagascar pour apprécier la diversité des procédés et évaluer la qualité des produits.

#### **Sur les interviews**

Selon les résultats des enquêtes effectuées en 2011 (Andriamampianina, 2012 ; Ratsimba, 2012), la fréquence de production des kitoza fumés varie de 2 à 7 fois par semaine avec une quantité de 3 à 10 kg par production au minimum et 4 à 20 kg au maximum selon la taille et l'importance du producteur. Le marché du kitoza est très faible par rapport à d'autres produits traditionnels. Selon Attwell (2003) (cité par Tom, 2015), la valeur annuelle du marché du biltong a été estimée en 2003, entre 40 et 70 millions d'euros. Durant cette même année, le plus grand producteur de biltong en Afrique du Sud avait produit 80 000 à 90 000 unités par mois. Plus récemment, le biltong est produit à grande échelle et de ce fait, il est facilement disponible dans les supermarchés sud-africains ou dans les magasins spécialisés (Tom, 2015). Actuellement, en plus de pays africains, le biltong est commercialisé et consommé dans plusieurs pays comme l'Australie, le Portugal, le Royaume-Uni et les Etats-Unis (Attwell, 2003). Dzimba *et al.*, (2007) ont élaboré diverses formulations de la recette dans le but de mettre le biltong sur le marché brésilien. Sur l'île de la Réunion, les industries à petite échelle produisent environ 900 t de boucané par mois dont la majorité est destinée à la consommation domestique (Poligné *et al.*, 2001).

Durant les interviews, les ouvriers ont déclaré ne pas être gênés par la chaleur et la fumée. Cependant, l'exposition à la fumée pourrait provoquer à long terme une intoxication

chronique et conduirait à une augmentation du risque de développer un cancer (Nordholm *et al.*, 1986 ; Okona-Mensah *et al.*, 2005). En effet, les personnes travaillant près de machines générant de la fumée ou dans un espace confiné avec de la fumée sont plus sujettes à l'exposition aux HAP que le reste de la population à cause de l'air pollué qu'elles respirent (Lijinsky, 1990). Tsai *et al.* (2001) ont mis en évidence le risque de cancer dû à l'exposition professionnelle aux HAP par inhalation et par contact avec la peau. Ils ont trouvé que les ouvriers travaillant dans une industrie de fabrication de noir de carbone à Taiwan avaient un risque de cancer de poumon et de cancer de la peau plus élevé par rapport au reste de la population.

Par ailleurs, la production de kitoza engendre des impacts environnementaux : la fumée produite lors du fumage et l'évacuation des eaux usées (lavage de l'atelier et des matières premières). Ces problèmes peuvent être résolus par l'adaptation des infrastructures et des méthodes : limitation du fumage, système d'évacuation raccordé à un puisard ou aux égouts.

Nous avons pu aussi constater que les contrôles et les inspections des ateliers par les autorités n'étaient pas réguliers, c'est-à-dire qu'une fois qu'un producteur reçoit un agrément, la consommation de ses produits dépend uniquement de sa bonne foi et de la confiance que les consommateurs lui accordent.

### **Sur les coûts et dépenses**

Selon les producteurs, le prix du kitoza fumé constitue une contrainte majeure à une demande plus élevée de la part des consommateurs. La difficulté majeure évoquée par les producteurs demeure l'incapacité d'investir plus d'argent dans la production de kitoza et l'absence de toutes formes de subventions pour accroître la production et étendre le marché. Nous avons estimé que la production de kitoza pourrait engendrer 25 à 50% de bénéfices/kg en se basant sur les prix des intrants.

### **Sur l'évaluation du procédé**

Nous avons assisté aux différentes étapes du procédé décrit pour chaque producteur.

#### *Sur l'évaluation des étapes*

Il est nécessaire d'assurer le contrôle fréquent du fumoir pour éviter que le combustible ne s'enflamme trop risquant de brûler les produits ou qu'il y ait trop de fumée, dans ce cas, le kitoza s'imprégnera d'une odeur désagréable. Toutes les ouvertures d'aération sont fermées au

cours du fumage pour éviter toute déperdition de fumée tout en permettant une action uniforme de la fumée sur tous les morceaux, une économie de combustible ainsi qu'un meilleur confort pour la personne qui s'occupe du four (Werlich, 2001).

#### Producteur A

L'augmentation des différentes températures (à cœur, dans le fumoir et à la surface de la viande) notée après 50 min correspond à une vive combustion du bois dans le fumoir. Les grandes variations de la température d'attaque peuvent s'expliquer par le fait que le bois s'enflamme trop ou qu'il y a trop de fumée. L'ouvrier laisse alors les entrées d'air ouvertes abaissant ainsi la température à l'intérieur du fumoir.

La durée de découpe plus longue lors de la première production peut s'expliquer par la quantité plus importante des rejets à éliminer (5,4 kg/100 kg). Ainsi, la durée de cette étape est plus ou moins longue en fonction de la qualité de la viande à parer.

Une perte en poids négative correspond à un gain de poids qui est la somme des différents gains (eau+sel...). La différence entre la perte en poids et la somme des gains (0,3 kg/100kg pour I et 0,1 kg/100kg pour II) après le salage s'explique par le fait que d'autres ingrédients sont ajoutés, augmentant ainsi le poids de la viande.

Par contre, les pertes en poids observées à l'issue du fumage, 31,4 kg/100kg (I) et 54,1 kg/100kg (II) s'expliquent par une perte en eau de 31 kg/100kg (I) et de 48,8 kg/100kg (II). Cette perte en eau s'accompagne aussi de la fonte des matières grasses et l'élimination partielle des ingrédients. Les rendements obtenus de 67,2% (I) et 46,2% (II) sont surtout à corréler avec les pertes en eau. Le produit obtenu est variable à chaque production car la teneur en eau finale n'est pas constante.

#### Producteur B

La similarité des rendements obtenus dans les deux productions après la découpe en lanières (78,6 et 79,2%) traduirait l'habileté de l'ouvrier qui arrive à maintenir le rythme de découpe (4,7 et 3 min/kg de viande à découper) quelles que soient la quantité de viande à découper et la quantité de rejets.

La durée du salage et l'ajout d'ingrédients qui s'élève à 45 min pendant la seconde production s'explique par le fait que l'ouvrier n'a broyé et râpé les ingrédients que pendant l'opération et que le couteau utilisé n'était pas bien aiguisé.

La différence entre perte en poids (PP) et perte en eau (PE), lors du fumage 2, pourrait être due à l'écoulement du jus des ingrédients et le fait que les ingrédients broyés et râpés sont éliminés durant les manipulations précédentes (brassage, accrochage).

#### Producteur C

Les pertes en eau de 8,6 et 1,2% sont liées à la diminution de la teneur en eau sous l'action du salage. Aucun gain en eau n'a été enregistré car les ingrédients ajoutés ne comportent pas de liquide.

Les pertes en poids lors du fumage sont de 26,2 et 43,8 kg/100kg pour les deux productions. Ceci peut s'expliquer par une perte en eau de 28,2 kg/100kg accompagnée d'une fusion des matières grasses entraînant une perte en lipides de 16,4 kg/100kg (II). Pour la première production, la différence entre PP et PE peut s'expliquer par le fait que des lanières de kitoza auraient pu se détacher des crochets lors du fumage.

Ainsi, l'importance de la perte de poids est fonction de la température de fumage et de sa durée, des caractéristiques spécifiques de l'aliment, de sa préparation préalable et de la taille des morceaux (Werlich, 2001). Mais l'opération de fumage uniquement ne suffit pas à prolonger la durée de conservation du produit et de réduire sa teneur en eau.

#### *Sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques*

Des variations ont été observées concernant les caractéristiques des produits chez tous les producteurs.

L'augmentation de la teneur en lipides dans le produit fini est due à l'ajout d'huile lors de l'assaisonnement pour le producteur A. Pour le producteur B, la diminution de la teneur en lipides à l'étape de fumage 1 peut s'expliquer par l'écoulement des lipides avec l'exsudat du jus dû au salage dans le fumoir. L'augmentation de la teneur en lipides dans le kitoza fumé peut être associée à l'ajout d'huile avant la dernière étape. Pour le producteur C, l'écart entre les teneurs en lipides pourrait être dû à l'hétérogénéité des échantillons prélevés.

Nous avons pu noter une perte en protéines à la fin du procédé chez tous les producteurs, correspondant à une diminution de la teneur en protéines exprimée en base sèche. Cela peut être dû au fait que les protéines sont dénaturées par la chaleur mais aussi au fait que les protéines solubles et d'autres nutriments sont emportés par le suintement des lanières entraînant une diminution de la qualité nutritionnelle.



Les teneurs en protéines et lipides des kitoza de bœuf des producteurs A et B sont similaires. Comparés à d'autres produits à base de bœuf, leur teneur en protéines est plus élevée que celle du jerky (19,81%) mais plus faible que celle du kilishi (50,2%) (Igene, 1990 ; Konieczny, 2007). Ce dernier a également une teneur en lipides (17,8%) plus élevée que celle des kitoza de bœuf fumés (Igene, 1990). Lewis *et al.* (1957) ont trouvé une teneur en protéines dans le biltong deux fois plus élevée (65%) que celle du kitoza de bœuf. Par contre, sa teneur en lipides est plus faible (1,9%). Le kitoza de porc contient plus de lipides que les kitoza de bœuf mais sa teneur en protéines est plus faible. Le boucané, viande de porc salée/fumée à chaud de la Réunion, a une teneur en lipides plus élevée (38%) que celle du kitoza de porc (Poligné *et al.*, 2001). Les teneurs en lipides du lacon et de l'androlla, des saucissons espagnols, (19,7 et 15,4% respectivement) sont proches de celles du kitoza de porc ; par contre, la teneur en protéines du lacon est deux fois plus élevée (56,4%) et celle de l'androlla est plus faible (12,8%) que celle du kitoza de porc (Marra *et al.*, 1999 ; Fanco *et al.*, 2002).

Avec des teneurs en eau et  $A_w$  supérieures à 50% à 0,9 respectivement, les kitoza fumés sont classés parmi les aliments à haute teneur en eau selon le classement de Leistner et Rödel (1976). Selon le classement de Girard (1988) des produits carnés suivant leurs caractéristiques physico-chimiques et leurs critères de conservabilité, les kitoza sont très facilement putréfiables ( $A_w > 0,95$  et  $pH > 5,2$ ) et nécessitent un stockage au froid. Les produits finis ne sont donc pas stables et pourraient constituer de substrat pour une prolifération bactérienne.

La teneur en eau et l' $A_w$  diminuent significativement au cours du procédé surtout au cours du fumage sous l'action de la chaleur conduisant à la déshydratation du produit. L'humidité migre de l'intérieur des lanières et s'évapore à la surface. Ceci peut être expliqué par l'effet de la cuisson sur la structure des protéines. En effet, dans la viande, l'eau est retenue par les charges des protéines ainsi que les effets stériques dans les réseaux myofibrillaires. La chaleur modifiant la solubilité des protéines et leurs charges, et donc leur hydratation, il s'ensuit une diminution du pouvoir de rétention d'eau à partir de 40°C favorisant la perte en eau (Laroche, 1988; Poligné *et al.*, 2001). La baisse de la teneur en eau est importante pour l'inactivation de la croissance des microorganismes ainsi que pour le prolongement de la durée de conservation du produit. Les teneurs en eau finales de kitoza sont plus élevées que celles observées sur le biltong d'Afrique du Sud (35,1 – 42,8%) (Petit *et al.*, 2014) mais sont proches

de celles du carne de sol du Brésil et de la cecina du Mexique (64-70% et 61-65% respectivement) (Norman et Corte, 1985 ; Reyes-Cano *et al.*, 1994).

Les pertes en eau négatives se traduisant par des gains en eau lors du salage pour les kitoza de bœuf ne correspondent pas à la teneur en eau du produit qui diminue lors de cette étape sous l'action du sel mais sont dues aux divers ingrédients « liquides » ajoutés (jus de gingembre, ...). Le sel diffuse dans la phase aqueuse entraînant une inversion du gradient de concentration de telle sorte que l'eau tend à sortir (Kent, 1985) de la viande.

Les kitoza produits par le producteur B sont plus salés que les autres échantillons provenant des producteurs A et C. En effet, la quantité de sel ajouté par le producteur B est la plus élevée (données non communiquées). La teneur en sel dans les produits finis a augmenté en raison de la perte en eau pendant le fumage. Les kitoza sont plus salés que le kundi (0,5%) et moins salés que plusieurs produits similaires tels que le biltong (5,7%), le boucané (5,6%), le charqui (15,5%) et le lacon (16,2%) (Van der Riet, 1976 ; Alonge, 1987 ; Marra, 1999 ; Poligné *et al.*, 2001 ; Lara, 2003).

Les teneurs en acide L-lactiques et l'acidité titrable base sèche n'ont pas augmenté et d'autre part, la teneur en glucose et le pH n'ont pas diminué. Ceci semble indiquer qu'il n'y a pas eu de fermentation.

Concernant la teneur en phénols, le kitoza de bœuf A fumé au bois présente des teneurs en phénols plus élevées (2,59 et 2,10 mg/100g) par rapport aux autres kitoza (bœuf 2 : 0,19 et 0,4 mg/100g ; porc : 2,14 et 0,6 mg/100g). Ceci peut s'expliquer par le fait que les lanières de viande issues du producteur A sont fumées plus longtemps que celles des autres ateliers (2 h 30 min contre 30 min et 15 min). Le kundi a une teneur moyenne en phénols de 0,9 mg/100g, allant de 0,5 à 1,37 mg/100g (Alonge, 1987). Ces valeurs montrent que les kitoza qui ont été fumés au bois sont plus fumés que le kundi. Par comparaison avec le boucané, pour laquelle la teneur en phénols est de 3 à 7,1 mg/100g, les kitoza sont moins fumés.

La teneur en B(a)P des kitoza fumés de bœuf 2 et de porc sont conformes au règlement n° 835/2001 de l'Union Européenne (UE) en ce qui concerne les HAP. Cela peut être expliqué par le fait que les biomasses utilisées génèrent peu de B(a)P et que les foyers sont en position latérale pour le bœuf 2. La teneur élevée en B(a)P des kitoza fumés de bœuf du producteur A peut s'expliquer par le fait qu'ils sont directement fumés au-dessus du feu (Viegas *et al.*, 2012a), et par la recyclycation des matières grasses fondues au contact de la braise chaude (Chen et

Chen, 2001 ; Sharma *et al.*, 2006). L'apparition des HAP est liée à la durée de traitement, à l'élévation de température, au temps d'exposition, à la teneur en lipides, au combustible et à la distance du foyer.

La teneur en B(a)P du kitoza de porc qui présente la teneur en lipides la plus élevée est conforme aux règlements en vigueur. La teneur en B(a)P des kitoza est largement inférieure à celle du kundi (41,03 µg/kg) (Alonge, 1987). Par comparaison à d'autres produits fumés à foyer direct, le kitoza est moins chargé que le boucané (6,95 µg/kg) ; par contre, les teneurs en B(a)P dans les produits carnés fumés portugais sont plus faibles (0,41 µg/kg en moyenne) par rapport à celles du kitoza (Poligné *et al.*, 2001 ; Santos *et al.*, 2011). Des études ont montré qu'il n'y avait aucun effet du temps de marinage sur la concentration en HAP, étant donné les différentes durées de salage (salage et marinage) observées chez chaque producteur : 10-15 min à 4°C pour le producteur A, 30 à 60 min à température ambiante pour le producteur B et aucun marinage pour le producteur C. Par contre, il a été démontré que la composition de la marinade pouvait réduire la formation de HAP (Melo *et al.*, 2008 ; Quelhas *et al.*, 2010 ; Farhadian *et al.*, 2012 ; Viegas *et al.*, 2012b ; Viegas *et al.*, 2014).

Concernant l'oxydation lipidique, elle est en général satisfaisante. Les indices TBARS sont inférieurs aux valeurs limites trouvées dans la littérature. La valeur relativement élevée de l'indice TBARS du kitoza de bœuf du producteur B lors de la première production ( $5,01 \pm 0,83$  mg/kg) semble indiquer un degré élevé d'oxydation pour le produit final. Ceci peut être nuisible pour la vente car des défauts de qualité à partir d'un indice de 2 à 3 sont perceptibles au niveau olfactif et la viande devient impropre à la consommation pour des niveaux de TBA de l'ordre de 5 (Gigaud, 2006). La stabilité de la valeur de TBARS pour la deuxième production pourrait être expliquée par l'utilisation de jus de gingembre et de quantités plus élevées d'ail (données non communiquées). En effet ces ingrédients exerceraient une activité antioxydante notamment en retardant la rancidité et le changement de couleur (Mansour et Khalil, 2000 ; Stoilova, 2007 ; Karre *et al.*, 2013 ; Shah *et al.*, 2014). Des valeurs de TBARS autour de 2 mg/kg ont été trouvées comme valeurs limites pour l'acceptabilité d'une saveur rance pour le bœuf (Greene et Cumuze, 1982 ; Campo *et al.*, 2006 ; Gigaud, 2006). Pour le porc, Tarladgis *et al.* (1960) ont suggéré que l'oxydation était perçue à des valeurs de TBARS de l'ordre 0,5-1,0. Les kitoza fumés de porc sont les moins oxydés des échantillons (valeurs les plus faibles en indice TBARS) bien qu'ils aient les teneurs en lipides les plus élevées (12,9 et 7,4 g/100g). La valeur moyenne de TBARS ( $0,888 \pm 0,054$  mg/kg) du biltong est plus élevée que

celle des kitoza (Nortjé *et al.*, 2005). Fanco *et al.* (2002) ont trouvé des valeurs de TBA allant de 0,17 à 0,40 après 42 j dans l'androlla tandis qu'Igene *et al.* (1987) ont décrit une élévation de l'indice TBA allant jusqu'à 2,01 dans le kilishi après 60 semaines.

Du point de vue microbiologique, l'évolution des microorganismes suit une même tendance. Ils augmentent après la découpe en lanières puis diminuent après les étapes de salage et fumage. Cela peut être expliqué d'une part par l'action bactériostatique du sel et des ingrédients combinée à l'effet du fumage par la température, la perte en eau et les composés phénoliques. Hormis leur contribution au goût caractéristique, les extraits de plantes ont également un effet bactéricide contre la flore indésirable (Tayel et El-Tras, 2012 ; Cao *et al.*, 2013). D'autre part, cela pourrait être dû aux matières premières utilisées provenant de sources contrôlées, au nettoyage fréquent du matériel et au respect des consignes d'hygiène.

La concentration en FAMT pour la viande de bœuf varie de  $5,1 \pm 0,2$  à  $7,0 \pm 0,1$  log cfu/g et pour le porc de  $6,6 \pm 0,2$  à  $7,3 \pm 0,3$  log cfu/g sur les 2 productions. Cette concentration tend à augmenter ou est stable après la découpe en lanières, sauf la viande du producteur B pour laquelle une étape de lavage est effectuée juste avant la découpe. Après l'étape de salage, les concentrations en FAMT diminuent progressivement jusqu'au fumage de  $5,6 \pm 0,2$  à  $4,1 \pm 0,0$ ;  $6,5 \pm 0,1$  à  $3,5 \pm 0,1$  ;  $6,4 \pm 0,1$  à  $3,8 \pm 0,3$  log cfu/g, respectivement, pour les viandes de bœuf 1et 2 et celle de porc.

Le niveau de contamination élevé de la flore totale durant le procédé peut provenir tout d'abord de la matière première ou résulter de mauvaises pratiques comme la manipulation dans des conditions d'hygiène défailantes. Les étapes du procédé, notamment la découpe en lanières et le mélange à la main, favorisent la dissémination des microorganismes au sein du produit. La contamination bactérienne provient de la flore initialement présente dans la matière première et/ou de contaminations intervenant au cours du procédé, par l'intermédiaire des manipulateurs et des outils (Lee, 1992). Ces bactéries aérobies, peuvent provoquer la contamination globale de la viande durant la manipulation, depuis l'abattage jusqu'à la fabrication du produit. La direction générale de l'alimentation (2001) donne comme critère de satisfaction pour les produits de salaison salés et/ou séchés ainsi que les produits de charcuterie cuits, la valeur  $5,5$  log cfu/g pour les microorganismes aérobies à  $30^{\circ}\text{C}$  et insatisfaisant au-delà de 7 log. Toutefois, les concentrations en FAMT dans les kitoza finis sont acceptables ( $<5,5$  log cfu/g). Les résultats obtenus concernant la flore totale dans les produits finaux sont inférieurs à ceux

trouvés dans la cecina (5,3-9,6 log ufc/g) et le biltong (6-7 log cfu/g) (Reyes-Cano *et al.*, 1994 ; Mhlambi *et al.*, 2010).

Pour le producteur B, lors de la première production, le taux élevé des microorganismes contenus dans la matière première (de 2 log plus élevé que les autres échantillons) pourrait être dû à une contamination de la viande en surface et un échantillonnage hétérogène. Lors de la deuxième production, l'augmentation de la charge microbienne après la découpe peut être due à un délai plus long (40 min contre 25 min lors de la première production), favorisant ainsi la prolifération des microorganismes. La concentration des bactéries n'a pas diminué durant le salage. Ceci peut être expliqué par le fait que les lanières sont laissées mariner à température ambiante (30-40°C) pendant 15 à 30 min. Toutefois, le nombre de bactéries n'a pas augmenté de manière significative après addition du sel et des différents ingrédients.

En ce qui concerne les bactéries lactiques, le nombre de germes augmente après la découpe, puis diminue suivant les étapes de salage et de fumage. Cependant, ils sont toujours présents dans le produit final et leurs nombres sont similaires dans tous les ateliers (entre 2 et 4,0 log cfu/g). Ces valeurs traduisent une relative richesse en flore technologique. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par García *et al.* (1995) dans les tissus internes de la cecina (3-4 log cfu/g), un produit carné salé séché et fumé. Cependant, le nombre des bactéries lactiques contenues dans les kitoza est largement inférieur à celui trouvé dans le chorizo et le salchichon ( $7,10 \pm 1,64$  et  $6,53 \pm 1,24$  log cfu/g, respectivement), produits carnés séchés fermentés, ayant un nombre élevé des bactéries lactiques (Capita *et al.*, 2006).

*E. coli* est présent dans la matière première de tous les producteurs, allant de 1,3 à 4,6 log cfu/g. Les concentrations diminuent après la découpe en lanières et le salage. Le salage exerce donc un effet sur la réduction des pathogènes. Ces résultats sont similaires à ceux observés sur du jerky par Harrison *et al.* (1998) qui ont trouvé une réduction supérieure à 5,0 log cfu/g concernant *E. coli* O157 quand les produits étaient marinés et une diminution inférieure à 5,0 log s'ils ne l'étaient pas avant le séchage. La diminution de la charge en *E. coli* se poursuit jusqu'à un niveau non détectable dans le produit final. La concentration en *E. coli* est d'une manière générale satisfaisante (jusqu'à 2,70 log ufc/g) par rapport à ce qui est énoncé dans le règlement 2073/2005 de la commission européenne.

En l'absence de *E. coli* et *Salmonella* dans le produit fini, le kitoza peut être considéré sain pour la consommation.

Le fumage induit également une perte en eau ainsi qu'une diminution de l'activité de l'eau. Le fumage à chaud permet de conserver le produit grâce à la cuisson, à la déshydratation et à l'action protectrice des composantes de la fumée. La température à cœur des lanières atteignant 65°C pendant 30 min au moins permet de garantir la destruction des bactéries (Werlich, 2001). Ce traitement thermique provoque la coagulation des protéines et la cuisson des kitoza. Tous ces facteurs contribuent à la diminution de la concentration des microorganismes. La compétition des lactiques bactéries avec d'autres bactéries dans le produit final doit également être corrélée à ce fait.

### **Sur les étapes critiques**

L'analyse de la qualité physico-chimique et microbiologique des produits finis et la caractérisation du procédé traditionnel de fabrication du kitoza fumé ont montré que les résultats critiques étaient la teneur élevée en B(a)P dans le produit final et la forte concentration en flore totale et en *E. coli* durant le procédé. Les étapes à risque sont :

- la découpe en lanières, qui fait augmenter la surface de la viande, favorise la prolifération des germes et peut introduire aussi des pathogènes par contamination croisée à partir des surfaces, du matériel et du personnel. Des durées de découpe de 1,16 à 6,8 min/kg de viande parée ont été observées selon l'habileté de l'opérateur en sachant qu'une manipulation trop longue de la viande peut engendrer un risque de contamination. Le matériel et la pailleuse constituent également des facteurs de risque au niveau de cette étape,
- le mélange par brassage ainsi que le marinage à la température ambiante. En effet, ces opérations sont des facteurs de risque de contamination microbienne des produits,
- l'étape de fumage. En effet, si elle permet la combinaison d'opérations unitaires de séchage, cuisson et fumage, elle peut néanmoins conduire à des produits présentant des teneurs élevées en HAP.

### **Sur les Staphylocoques à coagulase négative**

La concentration ainsi que la diversité de la flore d'intérêt technologique font du kitoza un produit très intéressant du point de vue technologique. Ce concept n'est pas un souci du producteur mais présente uniquement un intérêt scientifique.

La diversité des SCN du kitoza a déjà été observée dans les saucissons secs fermentés français et dans les ateliers de fabrication : à partir de 8 espèces dans une collection de 204

isolats dans l'étude de Coton *et al.*, (2010), jusqu'à 15 espèces dans une collection de 676 isolats dans l'étude de Leroy *et al.*, (2010). Sept espèces de SCN ont été identifiées dans le botillo et 5 dans l'androlla, deux saucisses de porc fumées traditionnelles espagnoles (García Fontán *et al.*, 2007 a, b). Dans le kadid, un produit traditionnel tunisien à base de bœuf salé séché, 9 espèces ont été identifiées (Essid *et al.*, 2007). Ces espèces de SCN pourraient provenir des animaux car elles font partie de la flore microbienne de leur peau et de leurs muqueuses (Nagase *et al.*, 2001). Il est à noter que les quatre principales espèces présentes dans le kitoza constituaient les espèces dominantes de SCN dans les aliments d'origine animale, même si elles étaient dans des proportions différentes. Ainsi, dans les aliments fermentés (fromages et saucissons), *S. equorum* représentait 28,5%, *S. xylosus* 28,3%, *S. saprophyticus* 12,5% et *S. succinus* 7,7% (Coton *et al.*, 2010). Dans les saucissons français traditionnels, les ratios suivants ont été trouvés : *S. equorum* (58,2%), *S. saprophyticus* (11,9%), *S. xylosus* (11,3%) et *S. succinus* (7,7%) (Leroy *et al.*, 2010). Ces espèces étaient dominantes dans deux saucissons traditionnels italiens, les sopressata de Ricigliano et de Gioi (Mauriello *et al.*, 2004) et dans le salami (Polka *et al.*, 2015). Ces quatre espèces ont également été identifiées dans différents biltong (Mhlambi *et al.*, 2010). Dans le kadid, *S. equorum*, *S. saprophyticus* et *S. xylosus* ont été trouvées de manière égale de l'ordre de 22 et 26% (Essid *et al.*, 2007).

*S. saprophyticus* et *S. xylosus* constituaient une part importante du microbiote des SCN dans les saucissons et salamis grecs (Samelis *et al.*, 1998 ; Drosinos *et al.*, 2005), le lăcon (Vilar *et al.*, 2000), le botillo (García Fontán *et al.*, 2007a) et dans divers saucissons italiens (Aquilanti *et al.*, 2007 ; Coppola *et al.*, 2000 ; Mauriello *et al.*, 2004). Pour le sucuk, un produit fermenté à base de bœuf, *S. xylosus* et *S. saprophyticus* étaient les espèces dominantes (41,5% et 28,5%, respectivement) (Kaban et Kaya, 2008).

Taylor (1976) avait trouvé que *S. saprophyticus* était l'espèce dominante dans le biltong fait à partir de la viande de bœuf. *S. succinus* et *S. equorum* (26,2) étaient codominantes dans les saucissons de porc traditionnels (Corbière Morot-Bizot *et al.*, 2006) et identifiées dans le salami (Greppi *et al.*, 2015). *S. equorum* a également été isolée dans les saucissons italiens (Aquilanti *et al.*, 2007 ; Blaiotta *et al.*, 2004 ; Coppola *et al.*, 2000 ; Mauriello *et al.*, 2004 ; Villani *et al.*, 2007) et espagnols (García Fontán *et al.*, 2007b) ainsi que dans le biltong (Mhlambi *et al.*, 2010).

*S. epidermidis* a déjà été identifiée dans le salami grec et le botillo, deux saucisses de porc fumées (García Fontán *et al.*, 2007b ; Samelis *et al.*, 1998). Cette espèce a également été

isolée dans les saucisses espagnoles telles que le chorizo, le fuet et le salchichon (Martín *et al.*, 2006). *S. epidermidis* et *S. warneri* étaient les staphylocoques prédominants trouvés sur la peau humaine (Nagase *et al.*, 2001) et pouvaient être transférés à la viande pendant le traitement. Comme le kitoza de bœuf séché, le biltong n'était pas contaminé par *S. warneri* (Mhlambi *et al.*, 2010). *S. warneri* a été trouvé dans les saucisses espagnoles mentionnées ci-dessus et dans différentes saucisses italiennes (Coppola *et al.*, 2000 ; Iacumin *et al.*, 2006 ; Mauriello *et al.*, 2004 ; Rantsiou *et al.*, 2005). *S. sciuri* et *S. kloosii* constituaient la population mineure du kadid (Essid *et al.*, 2007).

### **3.5 RECAPITULATIF DU PROCEDE, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

Le processus de fabrication du kitoza présente des étapes communes chez tous les producteurs : découpe en lanières, salage et fumage. Par contre, les ingrédients entrant dans la préparation du kitoza et les techniques de fumage varient d'un producteur à l'autre.

Les opérateurs sont des personnes qualifiées pour la préparation du kitoza. La vitesse de découpe en lanières est toujours maintenue et les rendements à chaque production sont peu différents. Les producteurs disent ne pas rencontrer de problème majeur à part la hausse des prix des matières premières.

Les résultats ont montré que le kitoza est non fermenté, mais les produits obtenus sont non stables étant donné la teneur en eau et l'activité en eau élevées. A la fin du processus de fumage, la teneur en B(a)P a été au-dessus des normes européennes 2 µg/kg dans 15 échantillons de kitoza fumé sur 31 analysés (28 durant les DEA en 2012 et 3 pendant les travaux actuels).

Il a été observé que la flore totale (FAMT) dans la viande fraîche a tendance à augmenter après la découpe en lanières qui se fait à la température ambiante. La concentration des bactéries diminue significativement après le fumage et aucun germe pathogène n'a été identifié au cours du procédé chez tous les producteurs.

La réduction des microorganismes est inversement proportionnelle à la réduction de l'Aw. Cette diminution par le salage n'est pas suffisante pour garantir l'obtention d'un produit sain. Le séchage et le fumage sont aussi utiles pour réduire l'Aw.

La transformation du kitoza engendre des problèmes techniques et sanitaires.



L'étude du procédé permet de recommander des pistes de réingénierie :

- Bœuf A : utiliser du bois bien sec pour une meilleure combustion, améliorer l'évacuation de la fumée pour la santé des employés (intoxications aiguës et chroniques);
- Bœuf B : placer les lanières à mariner au réfrigérateur mais pas à la température ambiante, utiliser un couteau bien aiguisé et un personnel bien formé ;
- Porc : choisir une matière première fiable (estampillée) étant donné que la viande n'est pas lavée pour maintenir sa couleur ;
- Pour tous les ateliers : être strict sur les règles d'hygiène (personnel, espace de travail, matériels), bien former le personnel (sécurité et rentabilité).

Les staphylocoques constituent une importante population microbienne dans le kitoza et une grande diversité d'espèces de SCN a été trouvée, *Staphylococcus saprophyticus* étant l'espèce dominante isolée à la fois dans les kitoza de bœuf et de porc. La diversité des espèces de SCN varie selon le type de viande (porc ou bœuf) et le processus (séché au soleil ou fumé).

**CHAPITRE 4 :**  
**REINGENIERIE DE LA**  
**FABRICATION DU KITOZA ET**  
**ANALYSES SENSORIELLES**

#### Chapitre 4 : Réingénierie de la fabrication du kitoza et analyses sensorielles

Le but de la réingénierie est de corriger les différentes étapes critiques pour aboutir à des produits plus conformes aux normes internationales mais acceptés par les consommateurs habituels du kitoza, principalement les Malgaches, et ensuite les étrangers en vue de leur exportation.

Dans un premier temps, nous avons identifié des pistes possibles d'amélioration des procédés. Dans un second temps, nous avons entrepris les travaux de réingénierie :

- à Montpellier sur des matières premières locales
- et à Madagascar sur des matières premières malgaches

Les produits améliorés ont été ensuite soumis à des analyses sensorielles.

#### **4.1 PISTES D'AMELIORATION**

A l'issue de l'identification des étapes critiques, des suggestions de réingénierie ont été avancées (tableau 21).

Tableau 21 : Points critiques et actions correctives suggérées

<b>Risque</b>	<b>Etape concernée</b>	<b>Cause possible</b>	<b>Actions correctives suggérées</b>
FAMT et <i>E. coli</i>	Lavage  Découpe en lanières  Salage	Matière première Matériel Environnement Dégradation accélérée de la viande	Bonne pratique d'hygiène Affichage de consignes d'hygiène claires Marinage des lanières à +4°C Nouvelle opération de biopréservation Maintien de la chaîne de froid (+4°C)
B(a)P	Fumage	Combustible	Séparation des opérations unitaires de caisson/séchage avec du charbon et le fumage avec de la sciure et diminution du temps de fumage

L'instauration de la chaîne de froid ainsi que la biopréservation, c'est-à-dire l'utilisation de flore d'intérêt technologique, n'est pas envisageable dans le contexte socio-économique difficile d'un pays comme Madagascar. Cela nécessite des moyens coûteux et difficiles à mettre en œuvre. Mais les autres consignes peuvent être appliquées. La réingénierie du procédé sera donc focalisée sur l'étape de fumage dans le but d'obtenir des produits proches des produits traditionnels (mêmes teneurs en eau et phénols) conformes aux préférences des consommateurs avec des faibles teneurs en HAP.

Afin de limiter l'apparition d'autres risques nous formulons les recommandations suivantes :

- utiliser un couteau bien aiguisé et bien former l'ouvrier pour limiter la durée de l'opération de découpage,
- nettoyer systématiquement et régulièrement tous les outils avant et après usage,
- sensibiliser et former les producteurs sur les bonnes pratiques d'hygiène pour assurer la qualité des produits finis (hygiène du personnel, matériel lisse, solide et durable, gestion des déchets, stockage...)

## **4.2 REINGENIERIE ENTREPRISE A MONTPELLIER (PILOTAGE DU FUMAGE)**

### **4.2.1 Diagramme de transformation**

La réingénierie du fumage a été effectuée au CIRAD Montpellier (France), à la Plateforme de Technologie Agroalimentaire de l'UMR QualiSud.

Les actions de réingénierie sélectionnées portaient sur l'étape de fumage afin de garder les mêmes caractéristiques physico-chimiques que le produit traditionnel tout en évitant la contamination par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui sont des composés cancérogènes.

Comme l'objectif de l'étude a visé la réduction des HAP, le diagramme de fabrication a été simplifié : la viande n'a pas été lavée et il n'y a pas eu de marinage (figure 19, p. 114). La viande de porc a été choisie du fait qu'elle est plus susceptible d'engendrer des HAP par sa teneur élevée en lipides.

Le sel est le seul ingrédient utilisé étant donné son action sur la perte en eau pendant l'étape de fumage.

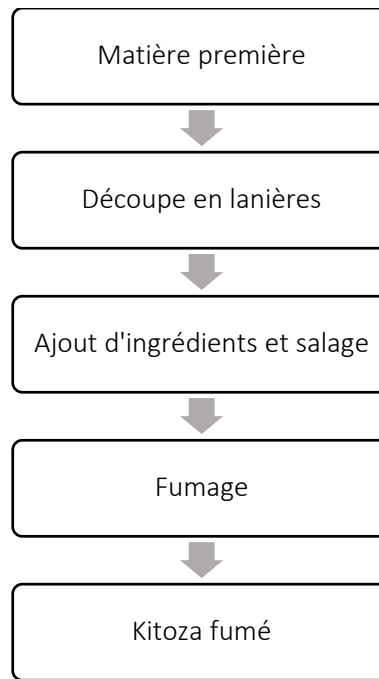


Figure 19 : Diagramme simplifié de transformation du kitoza

#### **4.2.2 Préparation et salage des lanières**

Des lanières de viande de porc (jambon) de 2,5 – 4,5 cm d'épaisseur et 15 – 30 cm de long ont été achetées chez un boucher sur place, à cause de l'interdiction d'exporter de la viande malgache. Les lanières ont été conservées sous vide à -20°C puis décongelées et placées à +4°C avant le salage et le fumage.

Le sel (10 g/kg de viande) a été mélangé avec les lanières et la viande assaisonnée est laissée reposer à la température ambiante le temps d'allumer le feu dans le fumoir (environ 15 min).

#### **4.2.3 Amélioration du fumage**

En tant que référence pour les caractéristiques du processus traditionnel, nous avons pris en considération les données obtenues chez le «producteur A» qui a effectué une combinaison des opérations unitaires de cuisson / séchage / fumage avec du bois pendant 2,5 h.

Des expériences préliminaires ont permis de retenir les traitements suivants qui devraient permettre d'atteindre les paramètres voulus :

- Cuisson/séchage au charbon (4 h) et fumage à la sciure (2 h) (charbon-sciure) ;
- Fumage à la sciure (2 h) et cuisson/séchage au charbon (4 h) (sciure-charbon) ;
- Cuisson/séchage/fumage au bois (6 h) (bois).

Différents paramètres ont été mesurés étant donné leur importance durant l'étape de fumage :

- la température, pour pouvoir maîtriser le degré de cuisson. Il est à noter que la cuisson de la viande s'effectue à partir d'une température à cœur de 60°C ;
- la perte en eau qui détermine la durée de conservation d'un produit ;
- l'accumulation des phénols et du B(a)P qui sont reconnus pour être un indicateur du goût fumé du produit et la qualité sanitaire du produit respectivement (voir Méthodes § 2.2.2.3, 2.2.2.8, 2.2.2.9 p. 36, 40, 41).

Pour être en mesure d'améliorer les opérations de cuisson, séchage et fumage, les variations de ces paramètres ont été enregistrées durant 6 h de traitement. Chaque traitement a été réalisé en triple.

Avant l'étape de fumage, 13 lanières ont été étiquetées et numérotées selon leur localisation dans le fumoir pour le suivi de poids, puis pesées. Ensuite, elles ont été suspendues de façon à ce que les milieux de toutes les lanières soient au même niveau (120 cm au-dessus du bois ou 80 cm au-dessus du charbon). Les lanières ont été placées aléatoirement dans le fumoir. Une lanière placée au milieu du fumoir a été munie de sondes pour mesurer la température à cœur et la température de l'air respectivement au milieu et à 5 cm au-dessus du bout inférieur de la lanière : c'est la lanière instrumentée. La température du fumoir a été mesurée à 10 cm en-dessous du milieu de la lanière instrumentée. L'enregistrement des températures a été faite toutes les 30 s avec une centrale d'acquisition. Une autre lanière a été utilisée pour mesurer l'évolution de poids. Une lanière est prélevée toutes les 30 min et elle est immédiatement broyée.

Le feu a été allumé au chalumeau. La sciure a été humidifiée pour qu'elle ait une teneur en eau de 22%. La sciure a été placée sur tôle perforée au-dessus du charbon.

#### **4.2.4 Echantillonnage et analyses**

La teneur en eau de la matière première a été déterminée (voir Méthodes §2.2.2.3, p. 36).

Au cours de l'étape de fumage, une lanière a été prélevée toutes les 30 min jusqu'à 6 h (la dernière lanière prélevée étant celle qui a été utilisée pour mesurer les températures).

Les lanières prélevées ont été pesées, broyées (le broyeur a été lavé à l'eau savonneuse et à l'éthanol après le broyage de chaque échantillon) et conservées 7 jours maximum dans un bocal en verre à +4°C jusqu'à l'analyse des teneurs en eau, des phénols et du B(a)P.

Les teneurs en eau et B(a)P ont été exprimées en base humide, et la teneur en phénols en base sèche.

Les différentes cinétiques de température enregistrées sont présentées sur les figures 20 et 21 (p. 112 et 113).

La figure 20 montre l'évolution de la température de l'air en contact avec la viande pendant le fumage. Nous avons essayé de stabiliser la température d'attaque à environ 100°C, proche de la température moyenne dans le processus de fumage traditionnel.

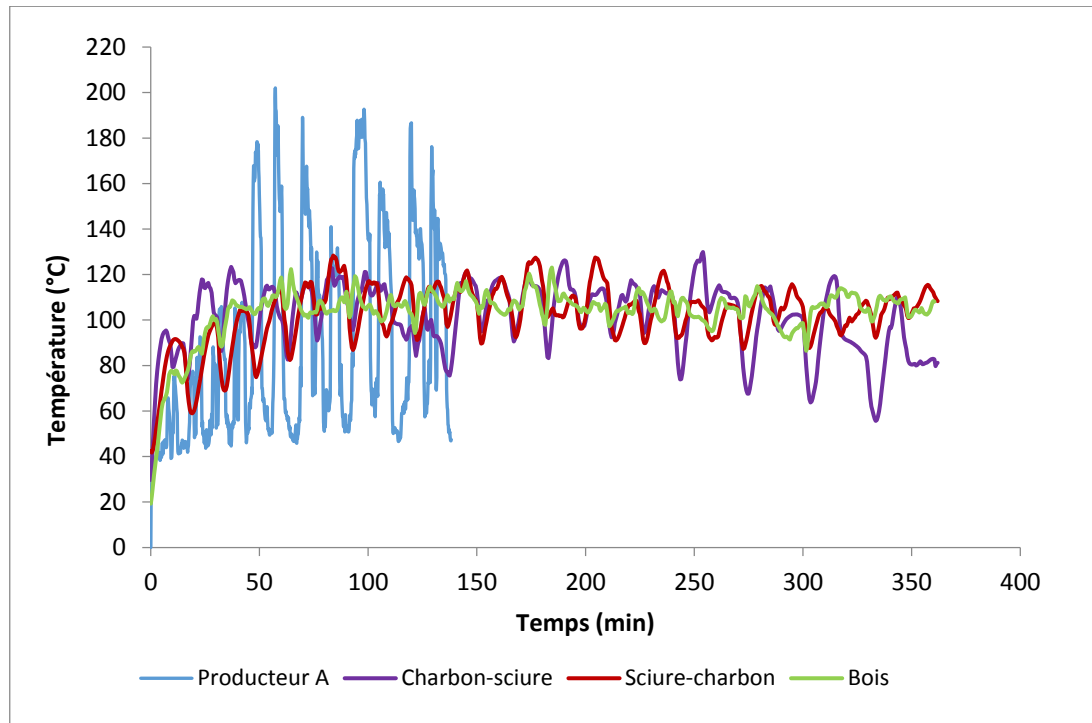


Figure 20 : Evolution de la température d'attaque dans le fumoir

La figure 21 montre l'évolution de la température à cœur des lanières de la viande et la figure 22 la cinétique de la teneur en eau durant les 3 traitements expérimentaux.

La température à cœur dans le cas du procédé traditionnel semble être à 10-20°C en dessous des traitements expérimentaux menés au Cirad à Montpellier. Le point final du processus traditionnel est de 55°C à 2,5 h.

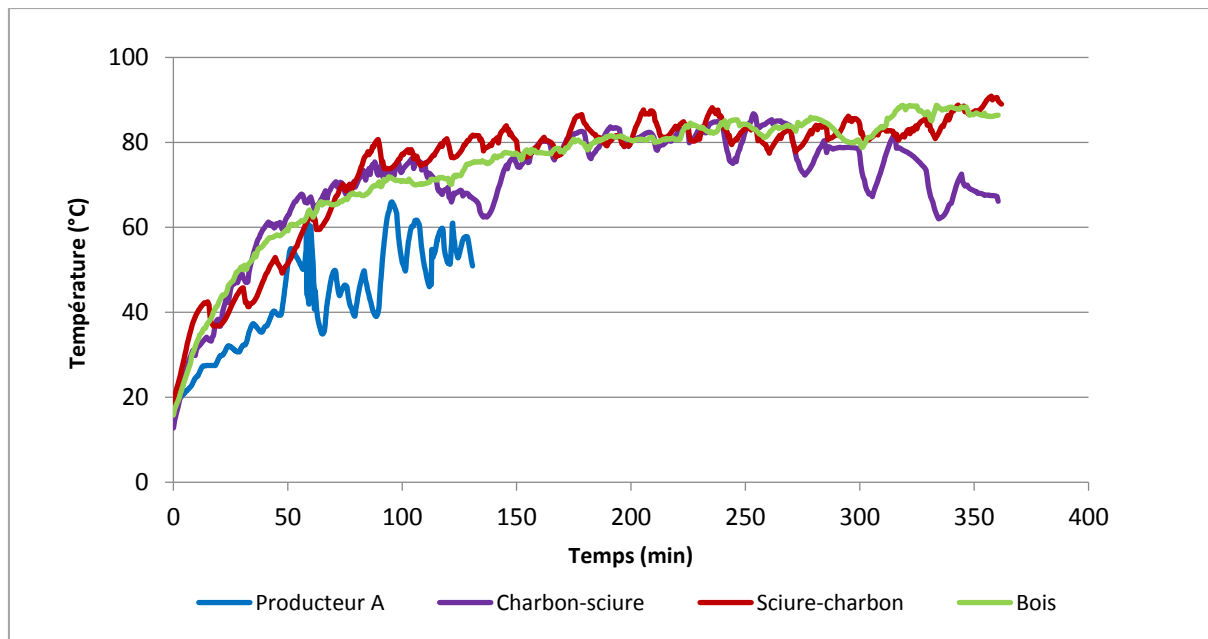


Figure 21 : Evolution de la température à cœur des lanières

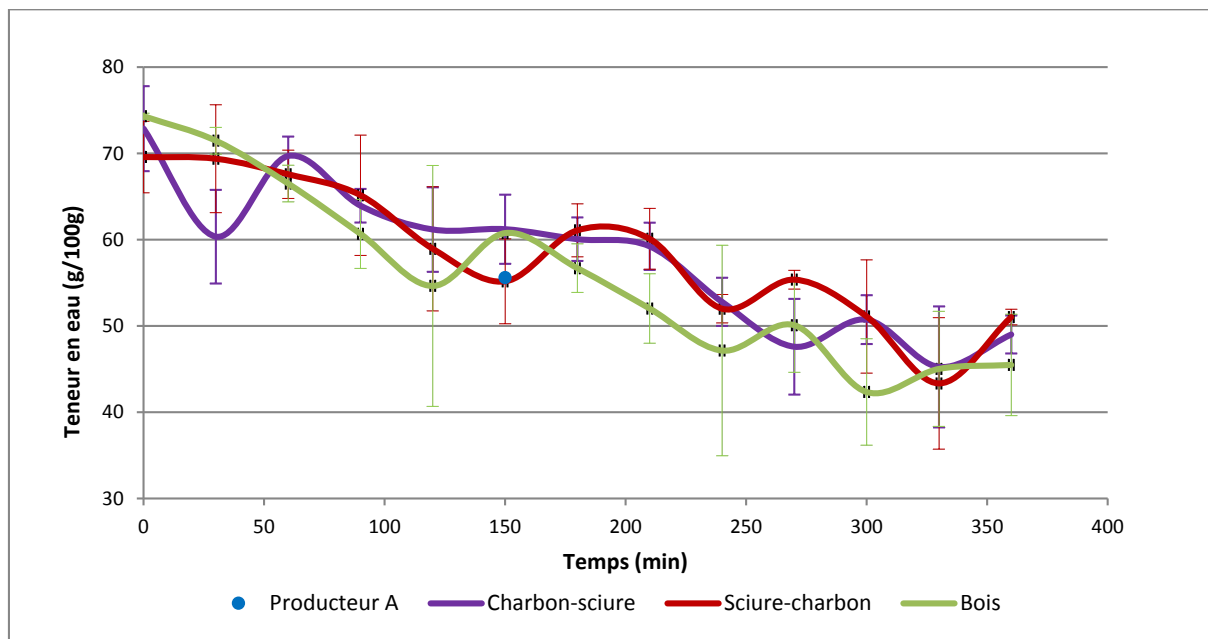


Figure 22 : Evolution de la teneur en eau au cours du fumage



Après 6 h de traitement, la teneur en eau est comprise entre 45 et 51%. A première vue, il n'y a pas de grande différence entre les trois procédés, toutefois, la teneur en eau contenue dans le produit fumé au bois est la plus faible. Les teneurs en eau des kitoza ne sont pas significativement différentes de celle du produit traditionnel (55%) bien que la température à cœur de ce dernier soit plus basse que celle des produits réingénierés.

Pour chaque traitement effectué à 100°C pendant 6 h, la valeur cuisatrice obtenue est de :

- 37,4 min pour le charbon-sciure,
- 56,4 min pour la sciure-charbon,
- 52,9 min pour le bois.

Ces valeurs semblent indiquer que les kitoza issus des traitements sciure-charbon et bois ont un degré de cuisson similaires et que les kitoza issus du traitement charbon-sciure sont moins cuits par rapport aux autres.

La figure 23 montre la cinétique de gain en phénols totaux des lanières de viande (exprimée en base sèche).

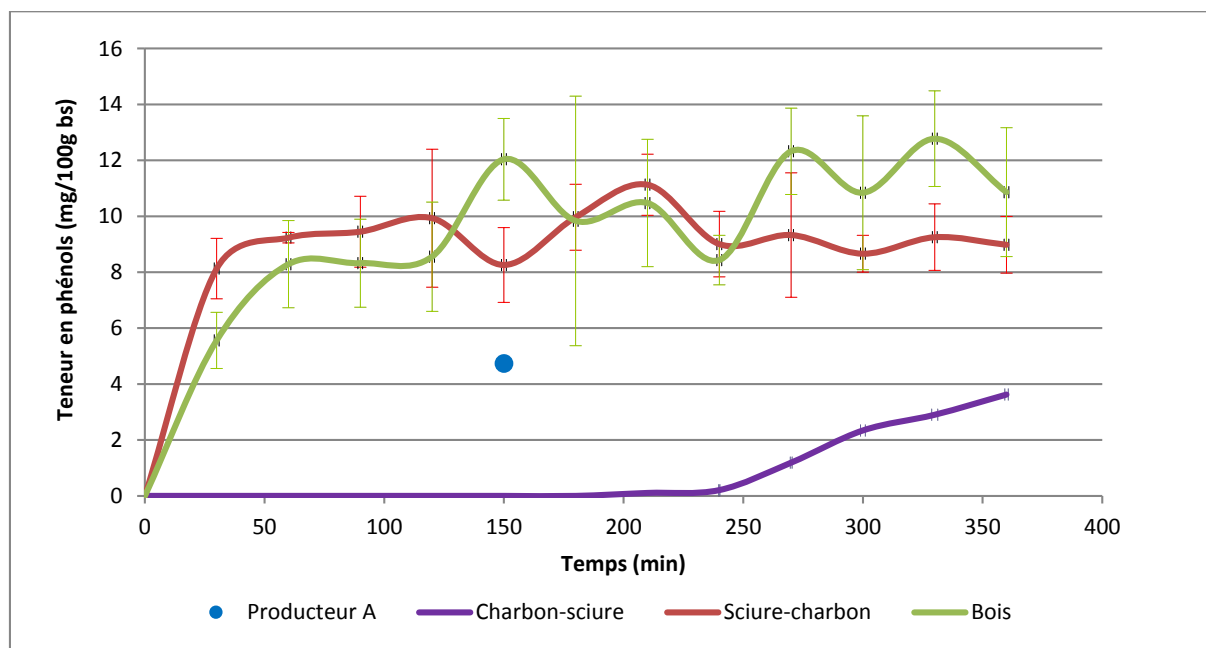


Figure 23 : Evolution de la teneur en phénols (base sèche) au cours du fumage

Nous avons observé que :

- la teneur en phénols finale chez le producteur A est d'environ 5 mg/100g bs ;
- le traitement charbon-sciure montre une légère et linéaire augmentation de la teneur en phénols dès que la sciure a été ajoutée, c'est-à-dire après 4 h de cuisson/séchage au charbon. La teneur en phénols atteint environ 4 mg/100g après 2 h du fumage, valeur proche du produit traditionnel ;
- le traitement sciure-charbon montre un dépôt de phénols très rapide et efficace au début, comparable au cas du bois seul. La teneur en phénols atteint un maximum après environ 1 h d'exposition à la fumée de la sciure. Après cela, la teneur en phénols reste stable jusqu'à la fin du traitement ;
- le traitement au bois, après 2 h de traitement, montre un arrêt du gain en phénol.
- les teneurs en phénol lors des traitements à la sciure-charbon et au bois atteignent des niveaux (environ 10 mg/100 g) au-dessus de la valeur traditionnelle (5 mg/100 g).

La figure 24 montre la cinétique d'accumulation en B(a)P dans les lanières de viande.

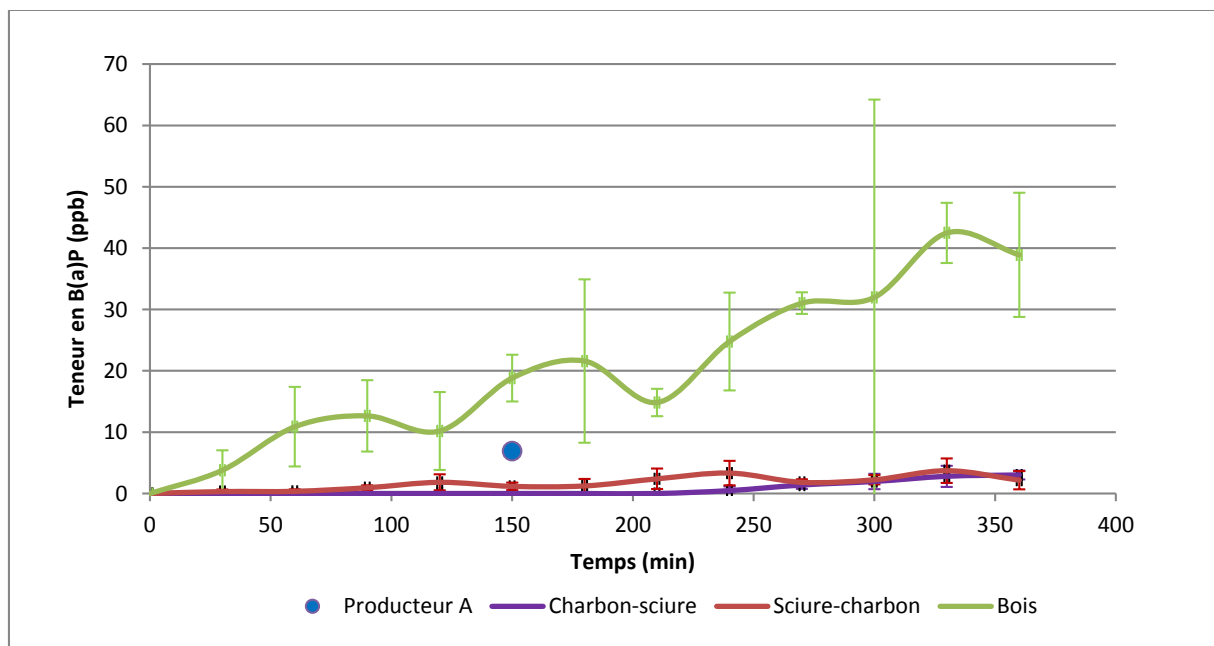


Figure 24 : Evolution de la teneur en B(a)P au cours du fumage

Quelle que soit la durée des traitements utilisant du charbon et de la sciure, les teneurs en B(a)P sont inférieures à 2 µg/kg. Pour ces traitements, après 3 h, une légère augmentation peut être observée. Dans le cas du traitement au bois, l'accumulation de B(a)P, de type linéaire, atteint des niveaux très élevés : 20 ppb après 2,5 h et 40 ppb après 6 h. Dans le cas du fumage traditionnel, le niveau de 7 ppb est atteint au bout de 2,5 h.

### **4.3 REINGENIERIE LOCALE**

La technique mise au point au Cirad de Montpellier a été transférée chez un producteur malgache. La réingénierie locale a été effectuée chez le producteur A étant donné que son produit a été sélectionné comme référence lors de l'étude. La matière première utilisée pour le bœuf est la tranche fine, découpée en lanières de 30 – 40 cm de long sur 2 – 3 cm d'épaisseur. Pour le porc, le morceau de viande choisi est le jambon qui a été découpé de façon à obtenir des lanières de 15 – 25 cm de long sur 2 – 3 cm d'épaisseur. Les ingrédients sont ceux que le producteur utilise habituellement. Le jambon de porc destiné à faire du kitoza est plus petit que le morceau de tranche fine de bœuf et afin d'obtenir des tailles de lanières homogènes, les kitoza de porc sont plus courts que les kitoza de bœuf. Le processus de fabrication du kitoza est le même que celui du produit traditionnel mais l'étape de fumage a été découpée en opérations unitaires de cuisson/séchage et fumage.

Un fumoir prototype a été construit sur le modèle de celui de Montpellier. Le fumoir est en briques et l'intérieur est recouvert de tôle. Les lanières sont accrochées sur des barres de fer transversales à 90 cm du foyer, de façon à ce que les milieux des lanières soient tous au même niveau. Un schéma représentatif du fumoir est présenté sur la figure 25 (p. 121). Il est composé d'une seule chambre et dispose de 2 portes. La porte supérieure est ouverte pour disposer les kitoza dans le fumoir. Celle inférieure est utilisée pour raviver le foyer en ajoutant du charbon limitant ainsi les pertes de chaleur si toute la cellule était ouverte. Le charbon est déposé sur une plaque en fer perforée permettant la circulation de l'air et l'élimination des cendres. L'élimination de la fumée se fait par la cheminée et un tuyau situé sur le côté du fumoir. Ces sorties sont munies d'un clapet manuel permettant de régler le débit d'évacuation de la fumée.

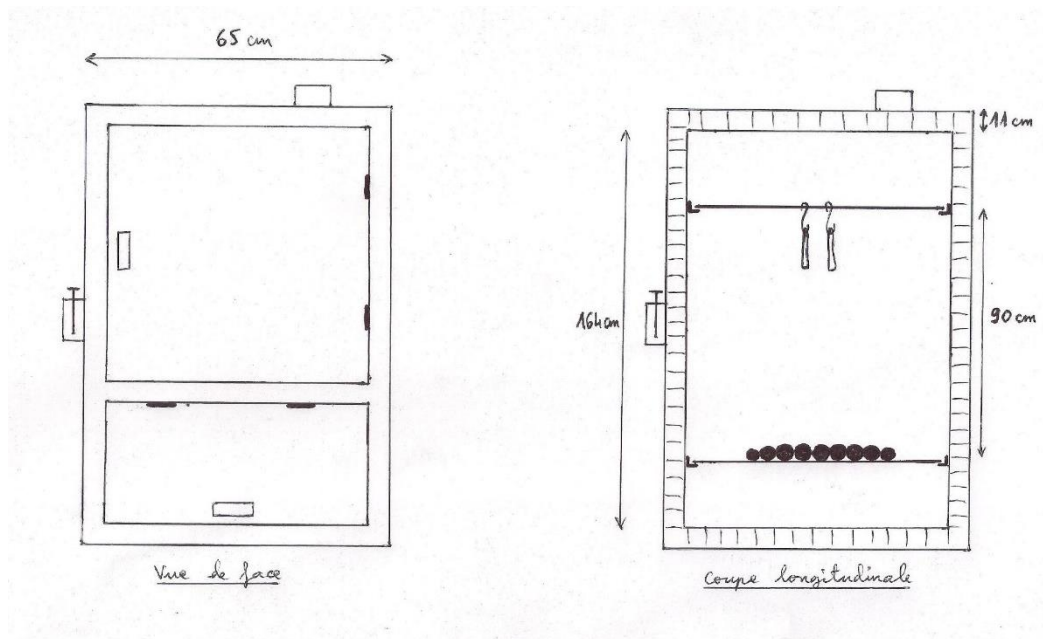


Figure 25 : Schéma du fumoir utilisé lors de la réingénierie locale

Il a été démontré lors du pilotage du fumage que les mêmes teneurs en eau et phénols étaient obtenues après une étape de cuisson/séchage suivie de fumage ou d'un fumage sur un produit humide pendant un temps assez court précédant l'étape de cuisson/séchage. Ces traitements au charbon et à la sciure sont réalisables localement et donnent des résultats satisfaisants. Lors de la réingénierie locale, nous avons appliqué le traitement cuisson/séchage puis fumage. L'étape de cuisson/séchage est effectuée au charbon puis le fumage est réalisé avec des copeaux de bois. Le charbon et les copeaux de bois sont issus de l'eucalyptus pour avoir les mêmes caractéristiques organoleptiques (odeur, goût) que les produits traités au bois. Du charbon est ajouté en continu pour maintenir le feu. Lors du fumage, pour avoir la densité de fumée voulue, 2 poignées de copeaux de bois sont ajoutées, soit 300 g. Le traitement a duré 1 h 15 min avec une heure de cuisson/séchage et 15 min de fumage.

Nous avons opté pour une température d'attaque de 150°C car de cette façon, la température à cœur serait plus élevée raccourcissant ainsi la durée de cuisson. Les températures d'attaque et à cœur des lanières ont été enregistrées avec une centrale d'acquisition et sont présentées sur les figures 26 et 27 (p. 122).

Les résultats sont comparés à ceux du produit traditionnel (producteur A).

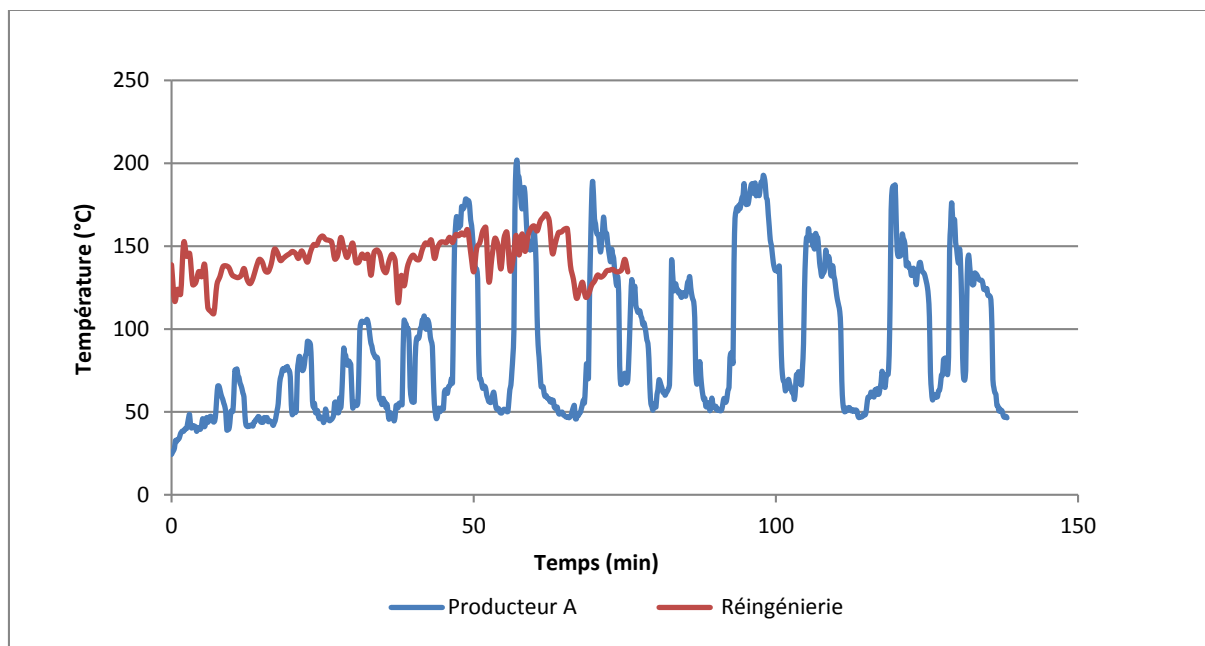


Figure 26 : Evolution de la température d'attaque lors de la réingénierie locale

Nous avons réussi à avoir une température d'attaque d'environ 150°C bien régulée par rapport à la température d'attaque du produit traditionnel.

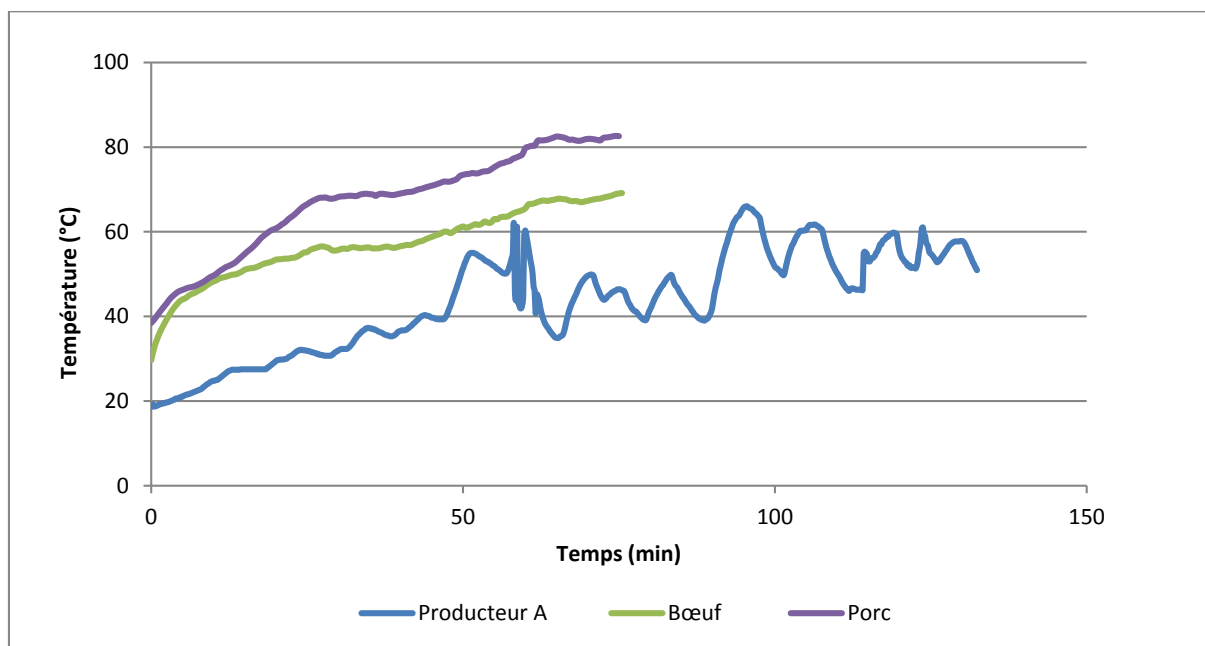


Figure 27 : Evolution des températures à cœur des lanières lors de la réingénierie locale

La température à cœur des lanières atteint un maximum de 75,5°C et est plus élevée que celle du produit traditionnel. Le kitoza subit ainsi un traitement thermique de type cuisson.

#### **4.3.1 Analyses physico-chimiques des produits réingénierés**

Les kitoza améliorés ont été soumis à des analyses physico-chimiques (voir Méthodes § 2.2.2.3, 2.2.2.8, 2.2.2.9 p. 36, 40, 41) dont les résultats sont présentés dans le tableau 22. Les teneurs en eau et en phénols des produits réingénierés sont proches de celles du produit traditionnel. En effet, les teneurs en eau du produit traditionnel et des produits améliorés sont respectivement de 55,6, 58,6 et 60,1 g/100g et les teneurs en phénols sont de 4,74, 4,25 et 3,92 mg/100g bs. Les teneurs en B(a)P des produits issus des traitements au charbon et à la sciure sont conformes aux normes européennes à la fin du traitement (<2µg/kg).

Les valeurs cuisatrices des kitoza de bœuf (produit traditionnel et réingénieré) sont proches, et celle du kitoza de porc amélioré est plus élevée.

Tableau 22 : Caractéristiques physico-chimiques du produit traditionnel et des produits réingénierés

	<b><i>Produit traditionnel (Producteur A)</i></b>	<b><i>Produits améliorés</i></b>	
		<b>Bœuf</b>	<b>Porc</b>
Teneur en eau (g/100g)	55,6	58,6±2,4	60,1±5
Teneur en phénols (mg/100g bs)	4,74	4,25±1,39	3,92±0,27
Teneur en B(a)P (µg/kg)	6,92	1,9±0,9	2,2±1,1
Temps	150min cuisson/séchage/ fumage	60min cuisson/séchage 15 min fumage	60min cuisson/séchage 15 min fumage
Combustible	Bois	Charbon puis copeaux de bois	Charbon puis copeaux de bois
Valeur cuisatrice (min)	1,5	1,8	6,6

#### **4.3.2 Analyses microbiologiques des produits améliorés**

Des analyses microbiologiques en cinétique ont été effectuées sur les produits finis (voir Méthodes § 2.2.3.5 p. 52). Il est utile de faire la détermination de la date limite de consommation (DLC) pour voir l'effet de la réingénierie sur la durée de conservation des produits. L'opération a été effectuée pendant 8 jours afin de garder les mêmes conditions que les producteurs qui ont déclaré garder le kitoza une semaine au maximum. Les kitoza ont été conservés à +4°C et à la température ambiante pour reproduire les modes de conservation des producteurs et des consommateurs.

Les résultats des analyses microbiologiques des kitoza de bœuf et de porc réingéniérés sont présentés dans les tableaux 23 et 24 (p. 121). La concentration de la flore totale ainsi que des bactéries lactiques était stable à +4°C. En effet, il n'y avait pas de différence significative entre les kitoza analysés à J0, J4 et J8.

Les kitoza conservés à la température ambiante avaient une charge en flore totale et en bactéries lactiques significativement plus élevée que les kitoza à J0 et ceux conservés +4°C. La concentration des bactéries augmente avec le temps à la température ambiante : 5 log de J0 à J4, et 0,4 log de J4 à J8. Aucune différence significative n'est observée entre les concentrations de bactéries des kitoza conservés à la température ambiante.

Aucun germe pathogène n'a été retrouvé dans les produits finis quels que soient le mode et la durée de conservation. La charge en *Escherichia coli* est toujours inférieure au seuil de détection (1 log cfu/g). *Salmonella* n'a plus été recherchée étant donné que ce germe n'a jamais été retrouvé durant tout le procédé.

Tableau 23 : Caractéristiques microbiologiques du kitoza de bœuf réingénieré

		<b>FAMT (log ufc/g)</b>	<b>Bactéries lactiques (log ufc/g)</b>	<b><i>Escherichia coli</i> (log ufc/g)</b>
Matière première		6,7±0,2 <sup>b</sup>	6,0±0,1 <sup>b</sup>	3,6±1,1 <sup>b</sup>
J0		3,3±0,7 <sup>a</sup>	2,5±0,3 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>
4°C	J4	3,2±0,8 <sup>a</sup>	1,8±0,9 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>
	J8	3,2±0,7 <sup>a</sup>	2,2±0,7 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>
Température ambiante	J4	8,5±0,8 <sup>c</sup>	7,2±0,5 <sup>c</sup>	<1 <sup>a</sup>
	J8	8,9±1,4 <sup>c</sup>	7,6±1,0 <sup>c</sup>	<1 <sup>a</sup>

Des lettres différentes dans une colonne représentent une différence significative au seuil de 5%.

Tableau 24 : Caractéristiques microbiologiques du kitoza de porc réingénieré

		<b>FAMT (log ufc/g)</b>	<b>Bactéries lactiques (log ufc/g)</b>	<b><i>Escherichia coli</i> (log ufc/g)</b>
Matière première		6,8±0,4 <sup>b</sup>	6,2±0,6 <sup>b</sup>	3,5±0,5 <sup>b</sup>
J0		3,4±0,5 <sup>a</sup>	2,6±0,3 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>
4°C	J4	3,7±0,5 <sup>a</sup>	2,7±0,2 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>
	J8	3,2±0,4 <sup>a</sup>	1,9±0,4 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>
Température ambiante	J4	8,7±0,3 <sup>c</sup>	7,2±0,7 <sup>b,c</sup>	<1 <sup>a</sup>
	J8	9,1±0,8 <sup>c</sup>	7,6±1,2 <sup>c</sup>	<1 <sup>a</sup>

Des lettres différentes dans une colonne représentent une différence significative au seuil de 5%.



#### **4.4 ANALYSES SENSORIELLES**

Afin de caractériser le produit, des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées complétées par des analyses sensorielles nécessaires à l'évaluation des caractéristiques organoleptiques. Ces analyses sont effectuées en deux étapes différentes : l'analyse descriptive qui décrit le profil sensoriel du produit et l'analyse hédonique qui évalue l'appréciation des consommateurs (voir Méthodes §2.2.5, p. 52).

##### **4.4.1 Analyses descriptives**

##### **4.4.1.1 Génération des descripteurs**

Les profils sensoriels des kitoza réingénierés ont été comparés à 7 échantillons (4 de porc et 3 de bœuf) qui ont déjà été étudiés lors de travaux portant sur l'analyse sensorielle et l'acceptabilité des produits finis traditionnels (Andrianarison, 2012 ; Andriantahiana, 2012).

Les 9 échantillons de kitoza (5 de porc et 4 de bœuf) ont été présentés aux panelistes :

- P1. Kitoza de porc, boucherie Andoharanofotsy
- P2. Kitoza de porc, boucherie Ivandry
- P3. Kitoza de porc sous vide Bongou
- P4. Kitoza de porc Kitoza sous vide boucherie Mahamasina
- P5. Kitoza de porc localement réingénieré
- P6. Kitoza de bœuf, boucherie Ivandry
- P7. Kitoza de bœuf, boucherie Behoririka
- P8. Kitoza de bœuf sous vide Bongou
- P9. Kitoza de bœuf localement réingénieré

Les kitoza ont été stockés dans des boîtes alimentaires à pression réduite. A part les échantillons numéros 3 et 8 pour lesquels aucune information n'est disponible, les détails du procédé des échantillons traditionnels sont présentés dans le tableau 25 (p. 123).

Tableau 25 : Liste des échantillons de kitoza et détails du procédé

<b>Echantillons</b>	<b>Marinage</b>	<b>Morceau de viande</b>	<b>Durée de l'étape de fumage</b>	<b>Combustible</b>
<b>P1</b>	Pas de marinage	Jambon	1 h	Charbon + copeaux de bois
<b>P2</b>	Pas de marinage	Escalope	2 h	Bois d'eucalyptus
<b>P4</b>	Pas d'information	Escalope	Pas d'information	Pas d'information
<b>P5</b>	15 min	Jambon	1 h 15 min	Charbon + copeaux de bois
<b>P6</b>	15 min	Tranche fine	2 h	Bois d'eucalyptus
<b>P7</b>	15 min	Tranche fine	1 h 30 min	Bois d'eucalyptus + charbon
<b>P9</b>	15 min	Tranche fine	1 h 15 min	Charbon + copeaux de bois

Après une séance de briefing, un total de quatorze (14) attributs sensoriels a été donné pour le kitoza : odeur fumée, odeur épicée, couleur, aspect humide, présence de gras, aspect fibreux, aspect grillé, dureté en bouche, élasticité en bouche, texture fibreuse en bouche, goût épicé, goût salé, goût sucré, arôme fumé.

La liste des attributs avec les définitions est donnée en Annexe 6.

#### **4.4.1.2 Elaboration du profil sensoriel**

Six échantillons parmi les neuf (voir tableaux 26 et 27, p. 124) ont été soumis aux analyses descriptives. Les trois autres échantillons, non disponibles, n'ont pas été soumis pour la suite des tests. Les tableaux 26 et 27 montrent les ANOVA des résultats des dégustateurs. Le profil sensoriel de chaque produit est obtenu à partir des moyennes de l'intensité de chacun des descripteurs de chaque produit sur une échelle de 10.

## Chapitre 4 : Réingénierie de la fabrication du kitoza et analyses sensorielles

Tableau 26 : Récapitulation des moyennes±écart-types de notation sensorielle obtenue par les panélistes pour les attributs odeur et aspect

	Odeur		Aspect					
Attribut/ échantillon	Odeur fumée	Odeur épicée	Aspect humide	Présence de gras	Aspect fibreuse	Aspect grillé	Dureté	Elasticité
P1	6,45±2,02ab	2,3±2,76b	1,65±1,45c	0,32±0,3b	5,35±2,85	4,4±2,61ab	5,67±2,76a	4,36±2,92abc
P2	4,36±3,27bc	1,71±2,3b	5,58±2,66b	2,29±2,44b	5,48±2,1	2,28±1,48b	2,01±1,7b	1,9±1,76c
P3	3,81±2,88c	2,55±3,22b	2,03±2,26c	0,21±0,24b	4,59±3,37	5,64±3,01a	7,53±1,55a	5,49±2,91ab
P4	8,18±1,55a	1,81±2,49b	8,06±1,48a	6±2,93a	3,55±2,43	3,91±2,57ab	2,59±1,61b	3,32±2,5abc
P5	5,04±3,32bc	1,04±1,09b	5,51±2,86b	5,41±3,63a	3,33±2,25	1,7±1,01b	2,95±2,74b	2,58±2,87bc
P6	0,82±0,78d	8,79±1a	5,28±2,37b	0,8±1,05b	4,65±3,3	1,73±2,8b	6,45±2,56a	6,2±2,19a
Probabilité	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	0,4041	<0,01	<0,001	<0,01

P1 : Kitoza de bœuf, boucherie Ivandry ; P2 : Kitoza de porc localement réingéniéré ; P3 : Kitoza de bœuf localement réingéniéré ; P4 : Kitoza de porc, boucherie Andoharanofotsy ; P5 : Kitoza de porc, boucherie Ivandry ; P6 : Kitoza de bœuf, boucherie Behoririka ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même colonne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes.

Tableau 27 : Récapitulation des moyennes±écart-type de notation sensorielle obtenue par les panélistes pour les attributs couleur, texture, goût et flaveur

	Couleur	Texture	Goût			Flaveur (arôme)
Attribut/ échantillon		Texture fibreuse	Epicé	Salé	Sucré	Fumé
P1	7,37±1,09a	5±2,54abc	3,4±2,92b	3,23±2,33ab	0,88±0,81b	5,32±2,92b
P2	1,86±1,46c	3±2,08bc	1,39±2,21b	2,48±1,84b	0,95±0,9b	4,49±3,12b
P3	6,21±2,42ab	5,43±2,65ab	2,66±3,24b	2,96±2,24b	0,7±1,2b	3,76±3,3bc
P4	1,83±1,55c	2,57±2,1c	1,9±2,07b	4,46±2,42a	0,81±0,85b	7,76±1,93a
P5	2,16±2,24c	3,51±2,12bc	1,24±1,73b	3,95±1,69ab	0,6±0,73b	6,3±2,58ab
P6	4,95±2,01b	6,15±2,42a	7,86±2,01a	4,66±2,27a	2,79±2,47a	1,9±2,71c
Probabilité	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001

P1 : Kitoza de bœuf, boucherie Ivandry ; P2 : Kitoza de porc localement réingéniéré ; P3 : Kitoza de bœuf localement réingéniéré ; P4 : Kitoza de porc, boucherie Andoharanofotsy ; P5 : Kitoza de porc, boucherie Ivandry ; P6 : Kitoza de bœuf, boucherie Behoririka ; les intervalles indiqués sont les écarts-types; sur une même colonne, des lettres différentes montrent une différence significative à 95% entre les étapes.

#### Chapitre 4 : Réingénierie de la fabrication du kitoza et analyses sensorielles

L'échantillon le plus fumé était P4 ( $8,18 \pm 1,55$ ) et le moins fumé était P6 ( $0,82 \pm 0,78$ ). Ce dernier avait l'odeur la plus épicée ( $8,79 \pm 1$ ). L'odeur moins épicée a été attribuée à P5 ( $1,04 \pm 1,09$ ).

Concernant l'aspect du kitoza, P4 était le plus humide ( $8,06 \pm 1,48$ ) et P1 avec P3 étaient les plus secs ( $1,65 \pm 1,45$  et  $2,03 \pm 2,26$  respectivement). P4 et P5 ( $6 \pm 2,93$  et  $5,41 \pm 3,63$ ) ont présenté l'aspect le plus gras contrairement à P1 et P3 ( $0,32 \pm 0,3$  et  $0,21 \pm 0,24$ ).

En ce qui concerne l'aspect fibreux, il n'y avait aucune différence significative entre les produits. En outre, P3 ( $5,64 \pm 3,01$ ) était le plus grillé et les moins grillés étaient P5 et P6 ( $1,7 \pm 1,01$  et  $1,73 \pm 2,8$ ). Les kitoza de bœuf étaient significativement plus durs que les kitoza de porc. P6 ( $6,2 \pm 2,19$ ) était le plus élastique et le moins élastique était P2 ( $1,9 \pm 1,76$ ).

La couleur des kitoza de porc était significativement plus claire que celle des kitoza de bœuf.

Par ailleurs, pour la texture en bouche, l'échantillon le plus fibreux était P6 ( $6,15 \pm 2,42$ ) et les moins fibreux étaient P2 et P4 ( $3 \pm 2,08$  et  $2,57 \pm 2,1$ ).

Enfin concernant le goût, P6 était significativement plus épicé ( $7,86 \pm 2,01$ ) et plus sucré ( $2,79 \pm 2,47$ ) que les autres échantillons. P4 ( $4,46 \pm 2,42$ ) et P6 ( $4,66 \pm 2,27$ ) étaient les plus salés.

Les échantillons P1 et P5 ainsi que P2 et P3 provenaient d'un même producteur et sur la plupart des attributs, ils n'étaient pas significativement différents. Enfin, les produits réingéniérés étaient les moins salés.

L'échantillon qui avait l'arôme le plus fumé était P4 ( $7,76 \pm 1,93$ ) et le moins fumé était P6 ( $1,9 \pm 2,71$ ).

L'analyse en composantes principales des produits (ACP) (voir Méthodes § 2.2.6.2, p. 56) a pour objectif de voir les liaisons entre les descripteurs et les échantillons de kitoza fumés. Les résultats de l'ACP sont donnés sur la figure 28 (p. 130).

Le cercle de corrélation affiche un pourcentage d'inertie de 86% et montre trois groupes de produits. Le premier est constitué de P6 corrélé aux descripteurs odeur et goût épicés ainsi que le goût sucré, et l'arôme non fumé. Le second comprend P2, P4, et P5 caractérisés par la présence de gras et l'aspect humide mais ne présentant pas de texture et un aspect fibreux. Le dernier est composé de P1 et P3 qui sont associés à une couleur foncée, une texture et un aspect fibreux, une dureté en bouche, l'élasticité et la pauvreté en matières grasses.

D'autre part, il y avait une nette différence entre les échantillons de porc et de bœuf. Les échantillons de porc sont associés aux gras et sont de couleur plus clair tandis que les échantillons de bœuf sont plus durs et élastiques et de couleur plus sombre.

Après la mise en évidence des différences significatives des descripteurs des kitoza par l'ANOVA, l'ACP des produits a permis de déterminer les profils sensoriels des échantillons de kitoza fumés réingéniérés.

En résumé, le porc est caractérisé par l'aspect humide, l'aspect peu grillé, la tendreté, l'élasticité et une couleur claire. Le bœuf est caractérisé par une couleur sombre, l'aspect non humide, l'aspect grillé et la dureté. Il n'existe aucune différence significative concernant l'odeur fumée et épicée, la présence de gras, aspect fibreux, le goût épicé, salé et sucré.

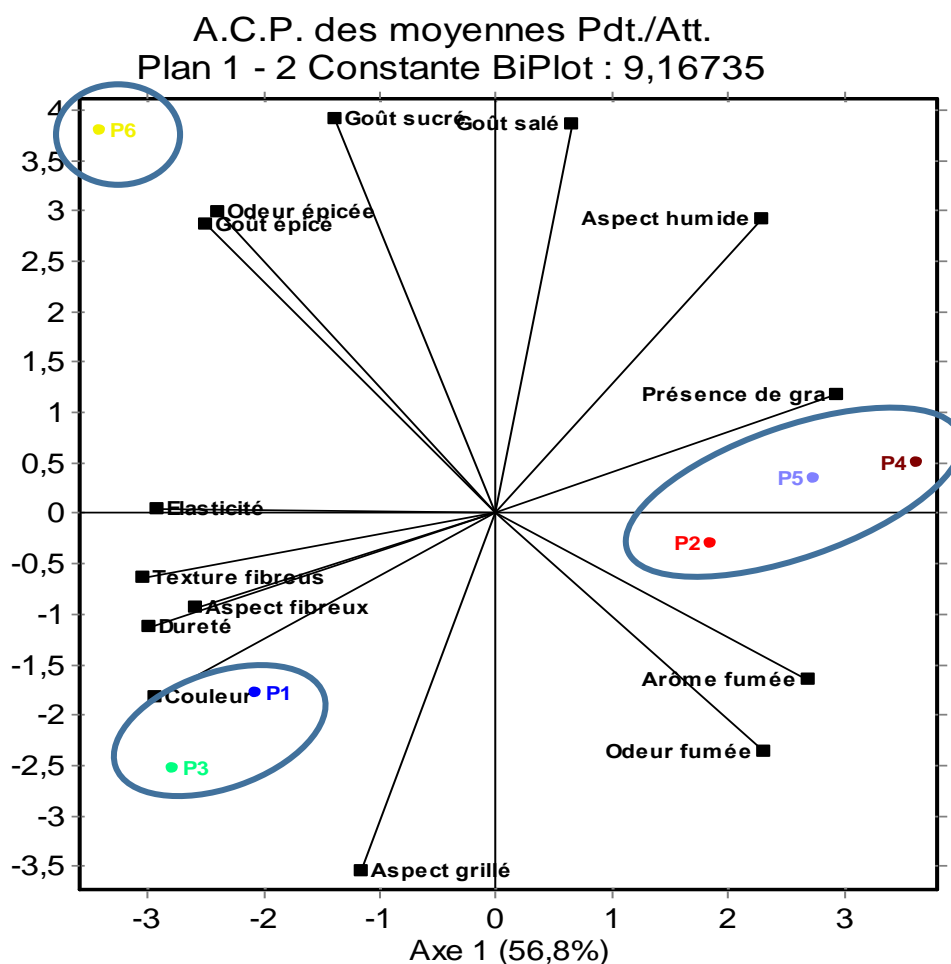


Figure 28 : Analyse en composantes principales (ACP) illustrant la relation entre les descripteurs sensoriels et les kitoza testés (6 échantillons)

- P1: Kitoza de bœuf, boucherie Ivandry
- P2: Kitoza de porc localement réingéniéré
- P3: Kitoza de bœuf localement réingéniéré
- P4: Kitoza de porc, boucherie Andoharanofotsy
- P5: Kitoza de porc, boucherie Ivandry
- P6: Kitoza de bœuf, boucherie Behoririka

#### **4.4.2 Analyses hédoniques**

Des tests consommateurs ont été effectués avec des consommateurs malgaches d'origines ethniques différentes (n = 100). Les consommateurs ont été interrogés à différents endroits à Antananarivo en utilisant la méthode de localisation centrale (Meilgaard *et al.*, 2007). Ils se répartissent comme suit : Ankatso zone universitaire (n = 42), Tsaramasoandro Ambanidia (n = 14), Société Artelia Ankadivato (n = 7), Tsiadana (n = 11), Soavimasandro (n = 26).

##### **4.4.2.1 Echantillons testés**

Parmi les échantillons utilisés pour les tests sensoriels, trois kitoza fumés ont été sélectionnés pour les essais de consommation, notés comme suit :

111 : kitoza de bœuf traditionnel (P6)

210 : kitoza de porc réingéniéré localement (P2)

421 : kitoza de bœuf réingéniéré localement (P3)

Le kitoza codé 111 a été choisi parmi 6 échantillons puisque selon l'analyse sensorielle, il a constitué un groupe séparé. Ainsi, chaque kitoza testé représente un groupe distinct.

##### **4.4.2.2 Tests consommateurs proprement dits**

Les consommateurs enquêtés sont composés de 51% d'hommes et de 47% de femmes. 35% des personnes enquêtées sont mariées et 57% sont célibataires. 26% sont salariés et 57% sont étudiants. 69% sont âgés entre 18 à 35 ans, 14 et 12% se situent respectivement dans les tranches d'âge de 36 – 45 ans et 46 – 55 ans. Pour le niveau d'étude, 76% d'entre eux ont effectué des études supérieures et 17% ont fait des études secondaires.

Concernant la fréquence de consommation du kitoza fumé, 25% ont déclaré n'en avoir jamais mangé, 53% rarement et le reste en mange au moins une fois par semaine. Généralement, le kitoza est mangé au petit déjeuner (20%), au diner (17%) et en apéritif (12%). Il est consommé avec du vary sosoa (29%), du vary amin'anana (6%), du vary maina (6%), avec du pain (3%), dans de la soupe (5%), ou consommé tel quel (9%). Les motivations d'achat sont le goût (37%) et la tendreté (13%). Quant au type de kitoza, 29% des personnes enquêtées préfèrent le kitoza de porc au kitoza de bœuf (37%). Selon les consommateurs, les morceaux de viande destinés à faire du kitoza sont le filet (48%) et la tranche fine (26%).

Le tableau 28 ci-dessous montre la moyenne des valeurs indiquées sur l'échelle par chaque consommateur qui représente l'acceptation globale moyenne de chaque kitoza étudié (voir Méthodes §2.2.5.2, p. 54).

Tableau 28 : Acceptation globale moyenne des tests kitoza

Code échantillon	Acceptation globale
P6 (111)	6,48
P2 (210)	6,58
P3 (421)	6,81

111 : kitoza de bœuf, boutique de Behoririka (P6) ; 210 : kitoza de porc réingéniéré localement (P2) ; 421 : kitoza de bœuf réingéniéré localement (P3)

Les valeurs hédoniques supérieures à la moyenne 4,5 montrent que les produits sont acceptés par les consommateurs.

Selon les analyses statistiques, les trois échantillons, avec un score de 6, ont été "modérément aimés" par les consommateurs. Aucune différence significative n'a été trouvée concernant l'acceptation.

## 4.5 DISCUSSION

### **Sur la détermination des étapes critiques et actions correctives**

Les étapes identifiées comme étant critiques sont pertinentes par rapport à l'objectif visé qui consiste à améliorer la qualité du produit en agissant sur le procédé. Les propositions d'amélioration apportées sont faciles à mettre en œuvre et durables.

### **Sur le pilotage de fumage (Montpellier)**

Il aurait été plus logique d'effectuer le pilotage localement mais cela n'a pas été réalisable faute d'équipements et de matériels. Les essais de réingénierie ont été entrepris à Montpellier où la matière première avec laquelle (viande de porc) nous avons travaillé a été achetée, ceci à cause de l'embargo sur les produits carnés en provenance de Madagascar.

Lors du traitement charbon-sciure, l'augmentation de la teneur en phénols après l'ajout de sciure indique une imprégnation nulle en phénols au cours de l'étape préalable de cuisson/séchage au charbon. Dans le cas du traitement sciure-charbon, la teneur élevée en phénols dans le produit au début peut être expliquée par la pénétration rapide des composés

phénoliques en raison de la teneur en eau élevée du produit en début de traitement (Sainclivier, 1985). Etant donné que ce paramètre est exprimé en base sèche, le fait que la valeur reste stable jusqu'à la fin du traitement signifie que les phénols déposés restent sur les lanières de viande et ne sont pas détruits ou évaporés. L'arrêt du gain en phénols peut être attribué à la surface sèche de la viande après 2 h de traitement au bois. Les variations des teneurs en phénols peuvent être attribuées à la disposition aléatoire des lanières dans le fumoir.

Concernant la teneur en B(a)P, nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Djinovic *et al.* (2008) montrant que la teneur en HAP dans les produits carnés fumés augmentait durant l'étape de fumage. Quelle que soit la durée des traitements charbon-sciure ou sciure-charbon, les teneurs en B(a)P étaient inférieures à 2 µg/kg. En effet, le charbon de bois ne contient que peu ou pas de HAP car au cours de sa fabrication il y a un fort dégagement de HAP (Nakajima *et al.*, 2007). Stumpe-Viksna *et al.* (2008) ont montré que la teneur en HAP pouvait être considérablement réduite dans les viandes fumées en utilisant du charbon de bois. Toutefois, l'augmentation de la teneur en B(a)P observée après 3 h est en relation avec la concentration du composé en raison de l'élimination d'eau. Ceci est accord avec les résultats des travaux de Ledesma *et al.* (2014) qui ont trouvé que la teneur en B(a)P augmentait avec la diminution de la teneur en eau durant le fumage.

Lors du fumage au bois, dans tous les cas, la teneur élevée en B(a)P peut être mise en relation avec la pyrolyse du bois à haute température dans un système permettant l'exposition directe au feu. Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Akpambang *et al.* (2009) qui ont analysé les viandes et poissons fumés du Nigeria. En effet, ils ont trouvé que les échantillons fumés au bois avaient des teneurs élevées en B(a)P de l'ordre de 2,4 à 31,2 µg/kg. Par ailleurs, les teneurs en B(a)P des échantillons fumés au charbon étaient conformes aux normes (0,7 à 2,8 µg/kg).

#### **Sur la réingénierie locale (Madagascar)**

Les valeurs cuisatrices des kitoza de bœuf traditionnel et réingéniéré étaient proches, ce qui indique un degré cuisson similaire. Le kitoza de porc réingéniéré semblait avoir un degré de cuisson plus élevé par rapport aux kitoza de bœuf réingéniéré et traditionnel étant donné sa valeur cuisatrice plus élevée. Ceci peut s'expliquer par le fait que la viande de porc est plus tendre que celle de bœuf, et subit ainsi une cuisson plus rapide. D'un autre côté, les essais lors du pilotage de fumage ont été menés avec de la viande de porc à 100°C, température médiane du fumage traditionnel. A 2 h 20 min, durée du procédé traditionnel, la valeur cuisatrice du



traitement charbon-sciure était de 6,2 min. Cette valeur est proche de celle du kitoza de porc réingéniéré (6,6 min) suggérant que les produits issus des traitements effectués à 100°C pendant 2 h 20 min et à 150°C pendant 1 h 15 min ont des degrés de cuisson similaires.

Les teneurs en B(a)P dans les produits finis sont à la limite de la valeur permise, et peuvent être dues au fait que le charbon utilisé n'est pas homogène. En effet, lors de la cuisson du kitoza, quelques flammes ainsi que de la fumée apparaissent dans le foyer, traduisant un défaut de cuisson du charbon c'est-à-dire que tout le bois n'a pas été transformé. Ceci entraîne la génération de HAP qui se déposent directement sur le produit. La principale source de HAP lors de la cuisson au charbon proviendrait ainsi de sa combustion (Dyremark *et al.*, 1995). Un autre facteur est la pyrolyse des graisses suintantes sur le foyer expliquant une teneur plus élevée en B(a)P pour le porc qui contient plus de lipides. Le choix de la nature des copeaux de bois est un paramètre important à prendre en compte dans le but de contrôler voire diminuer la concentration des HAP dans le produit (Stumpe-Viksna *et al.*, 2008). Ledesma *et al.* (2015) ont montré que le fumage à foyer direct pouvait être adapté afin d'obtenir des produits sains et de bonne qualité ayant de faibles teneurs en eau et en HAP ainsi qu'une bonne qualité microbiologique. Ils ont trouvé une teneur en B(a)P moyenne de 1,57 µg/kg (0,38 – 3,21 µg/kg) dans les 16 échantillons de viande fumée à foyer direct.

Les analyses microbiologiques montrent que le produit obtenu après le fumage (J0) est acceptable selon les critères microbiologiques applicables aux aliments concernant les produits transformés à base de viande jusqu'à 5,5 log cfu/g (Direction générale de l'alimentation, 2001). La réduction de la teneur en eau et de l'Aw pendant le fumage ont pour effet de réduire et retarder les bactéries. La charge élevée des microorganismes dans les produits conservés à la température ambiante peut être éliminée par cuisson avant la consommation. La concentration en *E. coli* dans les produits réingéniérés est satisfaisante (jusqu'à 2,70 log ufc/g) par rapport à ce qui est énoncé dans le règlement 2073/2005 de la commission européenne. Toutefois, le kitoza peut présenter un risque sanitaire du fait qu'il est exposé à la température ambiante durant la vente, même dans une vitrine, et qu'il est vendu sans emballage chez le boucher-charcutier avec la viande fraîche et les différents produits transformés.

#### **Sur les analyses sensorielles**

Les kitoza de porc sont les plus humides et les plus gras étant donné qu'ils sont plus riches en lipides. La différence de couleur des kitoza est due au type de viande : le bœuf est une viande rouge donnant une couleur sombre et le porc une viande blanche, conférant une couleur

claire au produit fini. Le fait que P6 (kitoza de bœuf traditionnel) soit le plus épicé et le plus sucré est en accord avec le fait que les ingrédients de cet échantillon comprennent du sucre et d'autres ingrédients (données non communiquées). Les différences concernant l'arôme fumé peuvent s'expliquer par l'intensité du fumage. En effet, bien que P6 soit fumé pendant 45 min, le fumage a été effectué avec du petit bois (brindilles de bois) tandis que P4 a été fumé pendant 15 min avec des copeaux de bois générant une fumée dense.

Les échantillons issus du même producteur ne sont pas significativement différents du point de vue sensoriel. Cela peut s'expliquer par le fait que la quantité de sel ajouté, la durée du fumage ainsi que la nature du bois et des copeaux sont identiques pour chaque type de kitoza. Les résultats des analyses descriptives ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les nouveaux produits P2 et P3 et les produits traditionnels car ils étaient intégrés dans les groupes mis en évidence lors des analyses sensorielles.

Toutefois, l'Aw est un paramètre important à prendre en considération car elle influe sur la perception lors des analyses sensorielles (Hough *et al.*, 2001 ; Goulas *et al.*, 2005 ; Serra *et al.*, 2005).

D'une façon générale, la consommation du kitoza fumé ne dépend pas du niveau scolaire et professionnel des consommateurs, cependant son prix n'est pas à la portée de toutes les bourses. Le prix de la viande influe sur la demande des consommateurs (Resurreccion, 2004). La préférence des consommateurs pour les kitoza tendres et l'attraction pour leur goût sont en accord avec les résultats observés par Andriantahiana (2012) et Andrianarison (2012). De plus, les morceaux de viande choisis par les consommateurs, qui sont la tranche fine et le filet, correspondent à ceux utilisés par les producteurs.

Les consommateurs n'ont décelé aucune différence entre les échantillons de kitoza traditionnel et réingéniérés. Ceci est en accord avec les analyses physico-chimiques qui ont montré que les teneurs en eau et en phénols des produits réingéniérés étaient proches de celles des produits traditionnels.

#### **4.6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

Les travaux sur la réingénierie ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- l'humidité de la surface de la viande, au début de chaque traitement, favorise le dépôt efficace de phénols ;
- la combustion directe du bois conduit à l'accumulation immédiate et élevée de B(a)P pendant le fumage dans un fumoir traditionnel. Cependant, le degré de contamination peut être diminué sous des conditions contrôlées en innovant les techniques de transformation ;
- selon les résultats obtenus, par rapport au fumage au bois, la séparation des opérations unitaires de cuisson-séchage avec du charbon (1h) et le fumage avec des copeaux de bois (15min) permettent, par rapport au procédé traditionnel, d'obtenir une même teneur en eau, une même teneur en phénol, une maîtrise de la teneur en HAP respectant les nouveaux règlements de l'UE en vigueur. Le produit amélioré possède les mêmes caractéristiques physico-chimiques que le produit traditionnel, mais la qualité et la sécurité sont assurées pour le consommateur (teneur en HAP conforme aux normes, absence de pathogène) ;
- la sciure humide utilisée pendant 2 h sur du charbon permet la génération des phénols, en particulier durant la phase où la surface de la viande est humide, en réduisant le risque d'accumulation de HAP ;
- la conservation optimale se fait à +4°C.

Pour obtenir un même barème de cuisson, il serait nécessaire de raccourcir la durée du traitement du kitoza de porc soit en enfournant les lanières de porc un certain temps après les lanières de bœuf, soit en effectuant tout d'abord un fumage sur toutes les lanières puis retirer les kitoza de porc une fois leur cuisson atteinte. Néanmoins, les caractéristiques physico-chimiques du kitoza de porc sont proches de celles du produit traditionnel.

Nous recommandons :

- l'utilisation de la sciure sur du charbon de bois au début de l'opération. La sciure ne doit pas être utilisée plus d'une demi-heure, afin d'éviter le dépôt de B(a)P sur la viande et obtenir un dépôt significatif de phénols (arôme fumé). Le fumage doit être suivi par l'étape de cuisson/séchage en utilisant du charbon exclusivement ;
- l'utilisation de charbon en début d'opération pour une cuisson/séchage jusqu'à atteindre la teneur en eau voulue puis l'ajout des copeaux de bois pour le fumage ;

- la suppression du bois pour le fumage direct du kitoza ;
- la conservation à +4°C lors de la vente des kitoza.

L'application du procédé de fabrication amélioré de kitoza a permis d'obtenir des produits similaires à ceux traditionnels concernant les propriétés sensorielles. Les études d'acceptabilité par les consommateurs ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les échantillons testés. Par conséquent, nous pouvons en conclure que le nouveau processus n'a aucun effet négatif sur l'appréciation des consommateurs et permet une qualité reproductible ainsi qu'un gain de temps.

**CONCLUSION GENERALE**  
**ET**  
**PERPECTIVES**

Les données recueillies sur terrain nous ont permis de connaître la qualité du kitoza par le suivi du procédé de transformation et les différentes étapes y afférentes.

Le kitoza est produit artisanalement dans de petites structures de transformation. Les ateliers de production sont en général des petites entreprises familiales qui ne desservent que la capitale. Les producteurs vendent généralement leurs produits directement aux consommateurs.

La viande provient de l'abattoir ou du fournisseur. Le morceau destiné à faire du kitoza est toujours de la chair de viande : de la tranche fine pour le bœuf et du filet ou du jambon pour le porc. La matière première peut être stockée au froid dans différentes conditions d'emballage (cuvette, sachet, telle quelle) avant d'être transformée. Les procédés de fabrication du kitoza fumé chez tous les producteurs présentent tous des étapes communes qui sont la découpe en lanières, le salage et le fumage. Les différences résident dans la recette du salage et la technique du fumage. Différents types de combustibles sont utilisés : bois de chauffe, charbon, copeaux de bois et la durée du fumage varie d'un producteur à l'autre. La technique est héritée généralement des traditions et savoir-faire transmis de génération en génération. De ce fait, la qualité des produits obtenus n'est pas constante d'une production à l'autre en raison de l'absence de standardisation des techniques et des outils. La production de kitoza peut engendrer des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine.

Le suivi et l'analyse des procédés de fabrication ont permis d'identifier des étapes critiques et de proposer des solutions. L'aspect critique de ces étapes résidait dans la pénibilité des tâches à réaliser et surtout l'action des facteurs de risque susceptibles d'influencer la qualité des produits finis. La découpe en lanières, le mélange manuel et le marinage à la température ambiante peuvent favoriser le développement microbien et l'étape de fumage peut conduire à l'accumulation de benzo(a)pyrène (B(a)P) ainsi qu'à la variabilité de la teneur en eau. Le procédé traditionnel de fumage au bois, qui permet la combinaison des opérations de cuisson, de séchage et de fumage, entraîne une augmentation de la teneur en B(a)P supérieure aux normes en vigueur.

Malgré ces différents problèmes, aucune maladie liée à la consommation de kitoza n'a été déclarée. Afin de répondre aux normes et aux exigences du commerce international, le procédé de fabrication a été réingéniéré. La réingénierie du procédé était basée sur la détermination des étapes critiques et l'apport d'actions correctives. Les solutions proposées étaient de mener le marinage à +4°C pour limiter la croissance microbienne, d'être rigoureux sur l'hygiène personnelle et de l'atelier pour éviter les contaminations lors de la découpe en

lanières et le salage. Enfin, nous avons proposé de séparer les opérations unitaires de cuisson/séchage et de fumage afin de limiter la teneur en B(a)P dans le produit final.

La séparation des opérations de séchage/cuisson et de fumage a permis de réduire l'accumulation des HAP dans la viande. L'étape de séchage/cuisson a été effectuée au charbon et le fumage avec la sciure de bois à humidité convenable en évitant l'apparition de flamme qui conduit également à la production de HAP. Sur des points de la cinétique de chaque traitement étudié, les teneurs en eau et en phénols des produits finis étaient proches des produits traditionnels. Cette séparation des opérations unitaires de cuisson, séchage et fumage a également l'avantage d'être très faisable, sans frais d'équipement supplémentaires.

Le processus de fumage du kitoza au niveau local a été amélioré en ajustant les paramètres de fumage (durée, température) et en séparant les opérations unitaires de séchage/cuisson et du fumage en utilisant du charbon puis des copeaux de bois.

Les caractéristiques physico-chimiques (teneurs en eau et en phénols) des produits améliorés sont proches du produit traditionnel avec une teneur en B(a)P conforme aux normes. Les procédés sans bois sont donc des pistes très prometteuses pour réduire l'accumulation de HAP au cours du séchage/fumage. Les produits réingéniérés étaient acceptables du point de vue microbiologique. La flore totale était satisfaisante et aucun pathogène n'a été trouvé. Par la réduction de la teneur en eau et sous l'action des composantes de la fumée, le kitoza se conserve bien pendant 8 jours s'il est placé à +4°C. Les nouveaux produits ont été autant appréciés que le produit traditionnel, aucune différence avec le produit traditionnel n'a été décelée par les consommateurs lors des analyses sensorielles et hédoniques. Les profils sensoriels des kitoza comportent pour le bœuf une couleur sombre, un aspect grillé et l'absence de gras et pour le porc, la présence de gras, un aspect élastique et une odeur fumée.

Dans le cadre du projet, à partir des résultats obtenus, un guide a été élaboré pour chaque produit à l'intention des producteurs locaux afin de standardiser la technique de production et avoir une production homogène des produits conformes aux attentes des consommateurs. Un « guide kitoza » (Annexe 2) a ainsi été confectionné et distribué aux producteurs. Il reprend notamment le diagramme de fabrication amélioré, les règles d'hygiène à suivre et les méthodes préconisées pour l'obtention d'un produit de qualité. Il est permis d'espérer qu'il va favoriser la promotion et la vulgarisation du produit.

Les résultats microbiologiques des produits finis ont montré que le kitoza était riche en flore d'intérêt technologique. La diversité des espèces est liée au terroir (matière première)

ainsi que le procédé (séché ou fumé). Le genre *Staphylococcus saprophyticus* était l'espèce dominante de staphylocoque à coagulase négative isolée dans les kitoza. *Staphylococcus epidermidis* a été trouvé uniquement dans les kitoza de porc fumés et *Staphylococcus warneri* uniquement dans les kitoza de bœuf fumés.

Par ailleurs, le kitoza est apprécié autant par les Malgaches que les étrangers de passage ou habitant à Madagascar. Par conséquent, la fabrication du kitoza a été reproduite en France et le procédé a été adapté aux contraintes de marché européen : maintien de la chaîne de froid tout au long du procédé, réingénierie du fumage pour éviter la production de HAP, emballage et biopréservation pour augmenter la durée de conservation. Cela a été réalisé afin d'évaluer la possibilité d'une commercialisation européenne et le produit final a été testé par les consommateurs. Il en a découlé que le kitoza fumé était apprécié par les Européens (Andriantahiana, 2012 ; Andrianarison, 2012 ; Pintado *et al.*, 2016).

Le prix élevé du kitoza et les tabous dans certaines régions sont des freins à la demande du kitoza.

L'amélioration du kitoza pourrait avoir un impact socio-culturel. A long terme, les conditions de vie de la population locale seront améliorées (alimentation, commerce). En effet, les actions proposées sont faisables et durables pour le marché local. Le kitoza fournit une valeur ajoutée aux producteurs et peut être même aux éleveurs, car il peut être considéré comme des produits de qualité supérieure et par conséquent sont assez chers. En outre, comme la qualité se trouve améliorée, le kitoza jouit d'une renommée et d'une promotion auprès des consommateurs locaux et étrangers. Ce qui peut favoriser l'extension des marchés locaux et ainsi, la création d'emplois.

Les résultats obtenus permettront aux producteurs d'élargir le marché local et plus tard d'accéder au marché international. Le fait que Madagascar soit membre de la SADC et de la COMESA pourrait déjà favoriser l'élargissement des marchés au niveau du continent africain. Le but à long terme du projet est de faire exporter le produit sur le marché européen. Le kitoza ne serait plus destiné uniquement à la diaspora mais à un plus large éventail de consommateurs. Afin d'y arriver, le kitoza doit répondre à certains critères notamment, la satisfaction de la demande, l'obtention d'un produit de qualité (traçabilité, suivi d'un cahier des charges,...) et être un produit final sain (absence de pathogènes et teneur en HAP conforme aux normes).



# Perspectives

Une des causes de l'insécurité alimentaire est l'inaccessibilité de la viande, ce qui limite sa consommation. La mise à disposition du kitoza dans les zones où il est absent ou très peu disponible résoudrait, au moins en partie, les problèmes d'insécurité alimentaire liés à l'accessibilité de la viande et encouragerait les producteurs et les éleveurs à produire le kitoza. La production de kitoza ouvrirait une filière encourageant les producteurs à abattre les zébus de manière contrôlée et les consommateurs à en acheter davantage. Cela inciterait aussi les éleveurs à prendre soin du bétail notamment face à l'hygiène et les vaccins.

Nous avons engagé des actions afin de protéger le kitoza. Nous voudrions établir des normes régissant les méthodes de fabrication ainsi que créer une association de producteurs afin d'obtenir un label et de bénéficier d'une appellation d'origine contrôlée. Etant donné que l'application d'une norme est facultative, tous les producteurs adhérents au groupe devront être soumis aux directives et réglementations le régissant. Ces mesures seront prises d'une part pour faire profiter les producteurs des résultats obtenus ainsi que pour empêcher les contrefaçons et les fraudes et d'autre part pour une amélioration continue au profit du consommateur (protection du consommateur, production régulière et standardisée) et enfin pour rendre le produit plus compétitif par rapport aux autres produits carnés internationaux.

Il serait intéressant de travailler sur le conditionnement du kitoza fumé afin d'obtenir un emballage pratique, pas cher et accepté par les consommateurs. Ceci permettrait de prolonger la période de conservation du produit sans modifier les propriétés sensorielles et nutritionnelles du produit. Différentes techniques de conditionnement seront testées. Brimelow (1985) a défini plusieurs critères concernant le choix de l'emballage. Parmi eux figurent la résistance à la chaleur si le produit doit être réchauffé emballé, la capacité à contenir la quantité voulue du produit, le degré de protection contre la manipulation et les dommages liés à une mauvaise gestion. Les produits conditionnés seront soumis à une évaluation sensorielle.

Les bactéries anaérobies telles *Clostridium botulinum* présentes dans les intestins des animaux et pouvant contaminer la viande peuvent engendrer des risques pour la santé des consommateurs. En effet, en présence d'air, ces bactéries sporulent et dégagent leur toxine. Leur destruction est assurée par la chaleur. La consommation des kitoza salés séchés sans cuisson préalable n'est donc pas conseillée. L'analyse de ces bactéries sporulantes s'avère ainsi

nécessaire. Des analyses microbiologiques supplémentaires telles que la recherche des levures et moisissures, *Staphylococcus aureus*,... ainsi que des analyses physico-chimiques telles que la détermination de la teneur en eau, l'acidité titrable, le pH, ... et notamment l'*aw*, qui est facteur déterminant du goût et de la conservation, seront effectuées en parallèle aux analyses sensorielles.

Comme cette étude ne concerne que la production de kitoza à Antananarivo, il serait intéressant d'effectuer des enquêtes et des échantillonnages sur les différents types et procédés de kitoza dans les autres régions où la culture de consommation du kitoza et sa production sont présentes. Une analyse hédonique dans les autres régions de Madagascar des échantillons conditionnés pourrait aussi être envisagée afin de promouvoir le kitoza et de prospecter de nouveaux marchés.

Il serait aussi intéressant d'étudier la diversité des souches de flore d'intérêt technologique et d'identifier celles qui sont détruites au cours du procédé. La connaissance des espèces de SCN pourrait conduire au développement de starters indigènes qui pourraient être appliqués à la biopréservation du produit et pourraient aider à contrôler *S. aureus*. Comme les bactéries lactiques sont les bactéries codominantes dans les kitoza, les différentes espèces pourraient être identifiées et des mélanges de cultures starters composés de SCN et de LAB formulés. Dans une étude antérieure sur l'acceptation et le profil sensoriel de kitoza, l'inclusion de cultures bioprotectrices commerciales composées d'un SCN et d'un LAB a confirmé la valeur de cette stratégie pour ces types de produits (Pintado *et al.*, 2016).

La réingénierie du fumage a été adaptée pour le kitoza mais la technologie pourrait être appliquée à d'autres autres produits carnés malgaches tels que le poisson, la volaille,...

Par ailleurs, pour préserver la biodiversité, l'environnement et la santé, l'utilisation du bois et l'émanation de fumée pourraient être limitées notamment par l'utilisation de fumée liquide à asperger sur le produit avant ou après cuisson. En effet, plusieurs études ont montré que ces fumées liquides avaient de faibles concentrations en molécules cancérigènes notamment le B(a)P, permettant d'obtenir des produits fumés ayant des teneurs en HAP réduites par rapport à ceux fumés au bois ou au charbon (Lijinsky et Shubik, 1965 ; White *et al.*, 1971 ; Miler et Sikorski, 1990). L'utilisation d'énergies renouvelables (énergie solaire, éolienne) pourrait être également envisagée pour le fumoir afin de réduire la consommation de combustible.

L'utilisation d'un fumoir avec un générateur de fumée séparé pourrait être envisagée. Dans ce cas, la chambre de fumage est reliée à un tuyau qui amène la fumée. Ce système permet de contrôler le débit de la fumée par le biais d'un registre à clapet (Werlich, 2001).

Une sensibilisation soutenue du grand public et des producteurs par différentes voies et des conférences sera effectuée afin de les convaincre de l'amélioration du procédé.

Une édition d'une version en malgache du guide technique et l'élaboration d'un référentiel pour les gens illettrés sera produite.

Les résultats concernant les enquêtes et les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des produits finis feront l'objet d'articles. Il en est de même pour la réingénierie du kitoza.

La cysticercose constitue un souci majeur de la production de kitoza. La viande contaminée est tout de suite détruite. Or, il est envisageable de faire des essais de kitoza fumé avec cette matière première. Si l'expérience était concluante, cela permettrait de valoriser la viande contaminée. Mais les actions pour lutter contre la cysticercose seront toujours menées en parallèle.

Pour terminer, nous pouvons dire que la promotion de la filière kitoza à Madagascar, doit passer nécessairement par un appui multiforme aux producteurs tout en leur permettant de passer de la fabrication artisanale peu contrôlée à une production semi-industrielle plus productive. Par conséquent, Madagascar doit, en vue de promouvoir le commerce extérieur, envisager de renforcer les mesures incitatives dans sa politique commerciale, mais aussi poursuivre ses efforts dans l'amélioration qualitative et quantitative de sa production afin d'élargir l'accès de ses produits aux marchés de la SADC et des autres régions du monde (Ralaifenomanana, 2009).

Le kitoza, ce plat national tant prisé depuis fort longtemps, avec les améliorations apportées par cette thèse, aura une place de choix. Tout comme le biltong en Afrique du Sud et le boucané à la Réunion, le kitoza sera associé à Madagascar. Sa valeur culturelle sera ainsi accrue.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- Aaslyng, M. D., Oksama, M., Olsen, E. V., Bejerholm, C., Baltzer, M., Andersen, G., Bredie, L. P., Byrne, D. V., & Gabrielsen, G. (2007). The impact of sensory quality of pork on consumer preference. *Meat Science*, 76(1), 61-73.
- Adeyeye S. A. O. (2016). Quality and safety assessment of sun dried meat product (kundi) from Ibadan, Oyo state, Nigeria. *Cogent Food & Agriculture*, 2, 12-74.
- AFNOR. (1968). Détermination de l'humidité. in: Viande et produits à base de viande. NF-V-04-401.
- AFNOR (1988). Dénombrement des bactéries lactiques. Viandes et produits à base de viande NF V 04-503.
- AFNOR. (1996). Poissons transformés. Filets de hareng fumés. Spécification - Dosage des phénols. NF V 45-067-Annexe B
- AFNOR (2000). Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques en laboratoire d'évaluation sensorielle ou en salle en conditions contrôlées impliquant des consommateurs. In. *AFNOR, recueil de normes, Analyse sensorielle*, 6ème édition. XP V 09 500, 1-30.
- AFNOR. (2002). Détermination de la teneur en azote total et calcul de la teneur en protéines - Méthode Kjeldahl in : *Viandes, produits à base de viandes et produits de la pêche*. NF V04-407.
- Ahmad, J. I. (2003). Smoked Foods, Applications of Smoking. In B. Caballero, L. Trugo & P. Flingas (Eds.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. (2<sup>nd</sup> ed., 5309-5316). Cambridge, Mass. : Academic Press
- Akpambang, V. O. E., Purcaro, G., Lajide, L., Amoo, I. A., Conte, L. S., & Moret, S. (2009). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in commonly consumed Nigerian smoked/grilled fish and meat. *Food additives and contaminants*, 26(7), 1096-1103.
- Alexander, D. D., Mink, P. J., Cushing, C. A., & Scurman, B. (2010a). A review and meta-analysis of prospective studies of red and processed meat intake and prostate cancer. *Nutrition journal*, 9(50), 1-17.
- Alexander, J., Benford, D., Cockburn, A., Cravedi, J. P., Dogliotti, E., Di Domenico, A., ... & Verger, P. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in food: scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *The EFSA Journal*, 724, 1-114.
- Alexander, D. D., Morimoto, L. M., Mink, P. J., & Cushing, C. A. (2010b). A review and meta-analysis of red and processed meat consumption and breast cancer. *Nutrition research reviews*, 23(2), 349-365.

- Alomirah, H., Al-Zenki, S., Al-Hooti, S., Zaghloul, S., Sawaya, W., Ahmed, N., & Kannan, K. (2011). Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food Control*, 22(12), 2028–2035.
- Alonge, D. O. (1987). Factors affecting the quality of smoke-dried meats in Nigeria. *Acta Alimentaria*, 16(3), 263-270.
- Andriamampianina, H. L. (2012). *Production vente et consommation du kitoza dans la province d'Antananarivo. Qualité du kitoza de porc* (Mémoire de DEA : Biochimie). Université d'Antananarivo, Madagascar, 60.
- Andrianarison, I. M. (2012). *Qualité alimentaire du kitoza fumé de bœuf* (Mémoire de DEA : Biochimie). Université d'Antananarivo, Madagascar, 65.
- Andriantahiana, Z. M. (2012). *Qualité alimentaire du kitoza de porc fumé* (Mémoire de DEA : Biochimie). Université d'Antananarivo, Madagascar, 107.
- Apata, E. S., Osidibo, O. O., Apata, O. C. & Okubango, A. O. (2013). Effects of different solar drying methods on quality attributes of dried meat production (kilishi). *Journal of Food Research*, 2(1), 80-86.
- Aquilanti, L., Santarelli, S., Silvestri, G., Osimani, A., Petruzzelli, A., & Clementi, F. (2007). The microbial ecology of a typical Italian salami during its natural fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 120(1), 136-145.
- Arrêté Interministériel n° 24 657/2004 du 23 décembre 2004 relatif au contrôle de la salubrité et de la qualité des produits et denrées alimentaires d'origine animale dans les Communes.
- Arrêté Interministériel n° 274/2005 du 09 février 2005 relatif à la visite et au poinçonnage des viandes de boucherie.
- Arrêté n° 8333/2001 du 30 juillet 2001 portant réglementation des conditions d'hygiène applicables aux Etablissements de préparation, transformation, conditionnement, entreposage ou distribution des denrées alimentaires animales ou d'origine animale destinées au marché local.
- Association de Coordination Technique pour l'Industrie Agro-alimentaire (ACTIA). (1999). *Évaluation sensorielle: guide de bonnes pratiques*. Paris, France : Actia.
- Attwell, E. (2003). Biltong wakes up. *South African Food Review*, 30, 11-13.
- Aune, D., Ronco, A., Boffetta, P., Deneo-Pellegrini, H., Barrios, F., Acosta, G., Mendilaharsu, M., & De Stefani, E. (2009). Meat consumption and cancer risk: a multisite case-control study in Uruguay. *Cancer Therapy*, 7, 174-187.

- Aymerich, T., Picouet, P. A., & Monfort, J. M. (2008). Decontamination technologies for meat products. *Meat Science*, 78(1), 114-129.
- BAfD/OCDE. (2005). Madagascar. *Perspectives économiques en Afrique*, 307-318.
- Barrière, C., Centeno, D., Lebert, A., Leroy-Sétrin, S., Berdagué, J. L., & Talon, R. (2001). Roles of superoxide dismutase and catalase of *Staphylococcus xylosus* in the inhibition of linoleic acid oxidation. *FEMS Microbiology Letters*, 201, 181-185.
- Bauer, W. J., Badoud, R., & Lölliger, J. (2010). *Science et technologie des aliments. Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés*. Italie: PPUR Presses polytechniques.
- Benito, M. J., Martín, A., Aranda, E., Pérez-Nevado, F., Ruiz-Moyano, S., & Córdoba, M. G. (2007). Characterization and selection of autochthonous lactic acid bacteria isolated from traditional iberian dry-fermented salchichón and chorizo sausages. *Journal of Food Science*, 72(6), M193-M201.
- Blaiotta, G., Pennacchia, C., Villani, F., Ricciardi, A., Tofalo, R., Parente, E., 2004. Diversity and dynamics of communities of coagulase-negative staphylococci in traditional fermented sausages. *Journal of Applied Microbiology*, 97(2), 271-284.
- Brimelow, C. J. B. (1985). A pragmatic approach to the development of new intermediate moisture foods. In D. Simatos & J. L. Multon (Eds.), *Properties of Water in Foods* (405-419). Dordrecht, Pays-Bas : Martinus Nijhoff Publishers.
- Buck G., & Daynes, P. (1964). La cysticerose porcine à Madagascar (relation avec la santé de l'homme). *Annales de l'Université de Madagascar – Médecine et Biologie*, Tome 2, 4, 53-56.
- Buck, G. (décembre 1972-janvier 1973). La production porcine à Madagascar. *Terre Malgache. Tany Malagasy*, 14, 193-217.
- Burfoot, D., Everis, L., Mulvey, L., Wood, A., & Betts, R. (2010). Literature Review of Microbiological Hazards Associated with Biltong and Similar Dried Meat Products. *Food Standard Agency*, 88.
- CAC (Codex Alimentarius Commission). (2009). Code of practice for the reduction of contamination of food with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from smoking and direct drying processes (CAC/RCP 68/2009).
- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303-311.

- Cao, Y., Gu, W., Zhang, J., Chu, Y., Ye, X., Hu, Y., & Chen, J. (2013). Effects of chitosan, aqueous extract of ginger, onion and garlic on quality and shelf life of stewed-pork during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 141(3), 1655-1660.
- Capita, R., Llorente-Marigómez, S., Prieto, M., & Alonso-Calleja, C. (2006). Microbiological profiles, pH, and titratable acidity of chorizo and salchichón (two Spanish dry fermented sausages) manufactured with ostrich, deer, or pork meat. *Journal of Food Protection*, 69(5), 1183-1189.
- Carr, M. A., Miller, M. F., Daniel, D. R., Yarbrough, C. E., Petrosky, J. D., & Thompson, L. D. (1997). Evaluation of the physical, chemical and sensory properties of jerky processed from emu, beef, and turkey. *Journal of Food Quality*, 20(5), 419-425.
- Chen, B. H., & Chen, Y. C. (2001). Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the smoke from heated model lipids and food lipids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(11), 5238-5243.
- Cheneau, Y. & Blancou, J. (1976). Caractéristiques des lésions de tuberculose chez le zébu malgache. Origine. Distribution. Corrélations. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 29(1), 1-10.
- Ciemniak, A., & Chrachol, L. (2007). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in cereal breakfast products. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 59(3), 301-307.
- Comi, G., Urso, R., Iacumin, L., Rantsiou, K., Cattaneo, P., Cantoni, C., & Cocolin, L. (2005). Characterisation of naturally fermented sausages produced in the North East of Italy. *Meat Science*, 69(3), 381-392.
- Conde, F. J., Ayala, J. H., Afonso, A. M., & González, V. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke used to smoke cheese produced by the combustion of rock rose (*Cistus monspeliensis*) and tree heather (*Erica arborea*) wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(1), 176-182.
- Coppola, S., Mauriello, G., Aponte, M., Moschetti, G., & Villani, F. (2000). Microbial succession during ripening of Naples-type salami, a southern Italian fermented sausage. *Meat Science*, 56(4), 321-329.
- Corbière Morot-Bizot, S., Leroy, S., & Talon, R. (2006). Staphylococcal community of a small unit manufacturing traditional dry fermented sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 108(2), 210-217.
- Coton, E., Desmonts, M. H., Leroy, S., Coton, M., Jamet, E., Christieans, S., Donnio, P. Y., Lebert, I., & Talon, R. (2010). Biodiversity of coagulase-negative staphylococci in French cheeses, dry fermented sausages, processing environments and clinical samples. *International Journal of Food Microbiology*, 137(2), 221-229.



- Daynes, P., & Bocchet, A. (décembre 1972-janvier 1973). Dismatose des ruminants à *Fasciola gigantica*. *Terre Malgache. Tany Malagasy*, 14, 123-150
- Decary, R. (1930). *L'androy (extrême Sud de Madagascar). Essai de monographie régionale* (Vol. 1). Paris, France : Société d'éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales.
- Décret n° 93-844 du 16 novembre 1993 relatif à l'hygiène et à la qualité des aliments et produits d'origine animale.
- Décret n°2005-503 du 26 juillet 2005 relatif au recensement, à l'identification, à la circulation et à la commercialisation des bovins.
- Décret n°92-285 du 26 février 1992 relatif à la police sanitaire des animaux à Madagascar.
- Direction générale de l'alimentation. (2001). Critères microbiologiques applicables aux aliments. Deuxième version.
- Djinovic, J., Popovic, A., & Jira, W. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different types of smoked meat products from Serbia. *Meat Science*, 80(2), 449-456.
- Domenichini, J. P., & Rafolo, A. (2003). Aspects de la vie quotidienne sur les Hautes Terres centrales les malgaches entre le XIe et le XIXe siècle. *Nouvelles du Centre d'Art et d'Archéologie*, 9, 19-24.
- Doremire, M. E., Harmon, G. E., & Pratt, D. E. (1979). 3,4-benzopyrène in charcoal grilled meats. *Journal of Food Science*, 44(2), 622-623.
- Drosinos, E. H., Mataragas, M., Xiraphi, N., Moschonas, G., Gaitis, F., & Metaxopoulos, J. (2005). Characterization of the microbial flora from a traditional Greek fermented sausage. *Meat Science*, 69(2), 307-317.
- Dubois, H. M. (1938). Monographie des Betsileo (Madagasacr), *Travaux et Mémoires de l'Institut d'Ethnologie (volume 34)*. Paris : Institut d'Ethnologie, Musée de l'Homme.
- Durand, P. (1999). *Technologies des produits de charcuteries et des salaisons*. Paris, France: Editions Tec & Doc, Lavoisier.
- Dzimba, F. E. J. M., Faria, J. D. F. & Walter, E. H. M. (2007) Testing the Sensory Acceptability of Biltong Formulated with Different Spices. *African Journal of Agricultural Research*, 2(11), 574-577.
- Dyremark, A., Westerholm, R., Övervik, E., & Gustavsson, J. Å. (1995). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) emissions from charcoal grilling. *Atmospheric Environment*, 29(13), 1553-1558.

- Essid, I., Ismail, H. B., Ahmed, S. B. H., Ghedamsi, R., & Hassouna, M. (2007). Characterization and technological properties of *Staphylococcus xylosus* strains isolated from a Tunisian traditional salted meat. *Meat Science*, 77(2), 204-212.
- European Commission (CE). (2002). Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of polycyclic aromatic hydrocarbons in food. Scientific Committee on Food, SCF/CD/CNTM/PAH/29 final.
- Falcó, G., Domingo, J. L., Llobet, J. M., Teixidó, A., Casas, C., & Müller, L. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods: human exposure through the diet in Catalonia, Spain. *Journal of Food Protection*, 66(12), 2325-2331.
- Fanco, I., Prieto, B., Cruz, J. M., López, M., & Carballo, J. (2002). Study of the biochemical changes during the processing of Androlla, a Spanish dry-cured pork sausage. *Food Chemistry*, 78(3), 339-345.
- FAO. (2013). *Meat & meat products. Meat consumption*. Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Agriculture and Consumer Protection Department.
- FAO. (2014). *World agriculture: Towards 2015/2030. An FAO perspective...* Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Agriculture and consumer protection department. FAO corporate document repository. Téléchargé le 23 septembre 2014 depuis <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e05b.htm>.
- Farhadian, A., Jinap, S., Abas, F., & Sakar, Z. I. (2010). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Control*, 21(5), 606-610.
- Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A., & Zaidul, I. S. M. (2012). Effects of marinating on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (benzo [a] pyrene, benzo [b] fluoranthene and fluoranthene) in grilled beef meat. *Food Control*, 28(2), 420-425.
- Folch, J., Lees, M., & Sloane-Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497-509.
- García-Falcón, M. S., & Simal-Gándara, J. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke from different woods and their transfer during traditional smoking into chorizo sausages with collagen and tripe casings. *Food Additives and Contaminants*, 22(1), 1-8.
- García Fontán, M. C., Lorenzo, J. M., Martínez, S., Franco, I., & Carballo, J. (2007a). Microbiological characteristics of Botillo, a Spanish traditional pork sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 40(9), 1610-1622.
- García Fontán, M. C., Lorenzo, J. M., Parada, A., Franco, I., & Carballo, J. (2007b). Microbiological characteristics of “androlla,” a Spanish traditional pork sausage. *Food Microbiology*, 24(1), 52-58.

- Garcia-Varona, M., Santos, E. M., Jaime, I., & Rovira, J. (2000). Characterisation of Micrococcaceae isolated from different varieties of Chorizo. *International Journal of Food Microbiology* 54(3), 189-195.
- García, I., Zumalacárregui, J. M., & Díez, V. (1995). Microbial succession and identification of *Micrococcaceae* in dried beef cecina, an intermediate moisture meat product. *Food Microbiology*, 12, 309-315.
- Giammarinaro, P., Leroy, S., Chacornac, J. P., Delmas, J., & Talon, R. (2005). Development of a new oligonucleotide array to identify staphylococcal strains at species level. *Journal of Clinical Microbiology*, 43(8), 3673-3680.
- Gibis, M. (2016). Heterocyclic Aromatic Amines in Cooked Meat Products: Causes, Formation, Occurrence, and Risk Assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 269-302.
- Gigaud, V. (2006). *Valeur nutritionnelle de la viande de lapin et influence du régime alimentaire sur la composition en acide gras. Les atouts nutritionnels de la viande de lapin : comparaison avec les autres produits carnés*. 12èmes Journées de la Recherche Cunicole 27-28 novembre 2007, Le Mans, France. ITAVI.
- Girard, J.P. (1988). *Technologie de la viande et des produits carnés*. Paris, France : Editions Tec & Doc, Lavoisier.
- Gomes, A., Santos, C., Almeida, J., Elias, M., & Roseiro, L. C. (2013). Effect of fat content, casing type and smoking procedures on PAHs contents of Portuguese traditional dry fermented sausages. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 369-374.
- Goulas, A. E., & Kontominas, M. G. (2005). Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*, 93(3), 511-520.
- Greene, B. E., & Cumuze, T. H. (1982). Relationship between TBA numbers and inexperienced panelists' assessments of oxidized flavor in cooked beef. *Journal of Food Science*, 47(1), 52-54.
- Greppi, A., Ferrocino, I., La Stora, A., Rantsiou, K., Ercolini, D., & Cocolin, L. (2015). Monitoring of the microbiota of fermented sausages by culture independent rRNA-based approaches. *International Journal of Food Microbiology*, 212, 67-75.
- Grimmer, G., & Hildebrandt, A. (1967). Content of polycyclic hydrocarbons in crude vegetable oils. *Chemistry & Industry*, 47, 2000-2002.
- Guillen, M. D., & Sopelana, P. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons in diverse food. In J. P. F. D'Mello (ed.), *Food safety: contaminants and toxins* (175-198). Wallingford, UK : CABI Publishing.

- Guillen, M. D., Sopelana, P., & Partearroyo, M. A. (1997). Food as a source of polycyclic aromatic carcinogens. *Reviews on Environmental Health*, 12(3), 133-146.
- Harrison, J. A., Harrison, M. A., & Rose, R. A. (1998). Survival of *Escherichia coli* O157: H7 in Ground Beef Jerky Assessed on Two Plating Media. *Journal of Food Protection*, 61(1), 11-13.
- Hecht, S. S. (1999). Tobacco smoke carcinogens and lung cancer. *Journal of National Cancer Institute*, 91(14), 1194-1210.
- Heinz, G., & Hautzinger, P. (2007). *Meat processing technology for small to medium scale producers*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Hitzel, A., Pöhlmann, M., Schwägele, F., Speer, K., & Jira, W. (2013). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in meat products smoked with different types of wood and smoking spices. *Food Chemistry*, 139(1), 955-962.
- Hotchkiss, J. H. (1988). A review of current literature on N-nitroso compounds in foods. *Advances in Food Research*, 31, 53-115.
- Hough, G., Buera, M. D. P., Chirife, J., & Moro, O. (2001). Sensory texture of commercial biscuits as a function of water activity. *Journal of Texture Studies*, 32(1), 57-74.
- Iacumin, L., Comi, G., Cantoni, C., & Cocolin, L. (2006). Ecology and dynamics of coagulase negative staphylococci isolated from naturally fermented Italian sausages. *Systematic and Applied Microbiology*, 29(6), 480-486.
- Igene, J. O., Farouk, M. M., & Akanbi, C. T. (1990). Preliminary studies on the traditional processing of Kilishi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50(1), 89-98.
- Institut National de la Statistique (Instat Madagascar). (2000). *EPM : Enquêtes Prioritaires auprès des Ménages – 1999*. Rapport principal. Antananarivo, Madagascar.
- Institut National de la Statistique (Instat Madagascar). (2015). Tableau de bord économique, n°21. Consulté sur <https://www.instat.mg/tbe21-octobre-2015/> le 12 novembre 2015.
- Institut National de la Statistique (Instat Madagascar). (2016). Madagascar en chiffres-2016. Consulté sur <https://www.instat.mg/madagascar-en-chiffre/> le 12 novembre 2015.
- International Agency for Research on Cancer. (2010). Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures, *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, 92.
- ISO 6579 (2002). Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the detection of *Salmonella* spp.

- ISO 8589 (2014). Analyse sensorielle – Directives générales pour la conception de locaux destinés à l'analyse. ISO 8589:2007/Amd 1: 2014.
- Janoszka, B., Warzecha, L., Blaszczyk, U., & Bodzek, D. (2004). Organic compounds formed in thermally treated high-protein food. Part I: Polycyclic aromatic hydrocarbons. *Acta Chromatographica*, 115-128.
- Jones, M. J., Tanya, V. N., Mbofung, C. M. F., Fonkem, D. N., & Silverside, D. E. (2001). A Microbiological and nutritional evaluation of the West African dried meat product, Kilishi. *The Journal of Food Technology in Africa*, 6(4), 126-129.
- Kaban, G., & Kaya, M. (2008). Identification of lactic acid bacteria and Gram-positive catalasepositive cocci isolated from naturally fermented sausage (Sucuk). *Journal of Food Science*, 735(8), 385-388.
- Kalilou, S. (1997). *Transformation traditionnelle de la viande en kilichi au Niger, optimisation des procédés* (Thèse de Doctorat). Ecole nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires, Montpellier, France, 137.
- Karre, L., Lopez, K., & Getty, K. J. K. (2013). Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*, 94(2), 220–227.
- Kent, M. (1985). Water in fish. In D. Simatos & J. L. Multon (Eds), *Properties of Water in Foods* (573-590). Dordrecht, Pays-Bas: Martinus Nijhoff Publishers.
- Kjeldahl, J. (1883). A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22(1), 366-382.
- Kleih, U. (1995). Economic aspects of dried meat production and marketing in Nigeria. *Report on a visit to Nigeria to study economic aspects of dried meat production and marketing*, 35.
- Knockaert, C (1990). *Le fumage du poisson*. Brest, France : Ifremer.
- Konieczny, P., Stangierski, J., & Kijowski, J. (2007). Physical and chemical characteristics and acceptability of home style beef jerky. *Meat science*, 76(2), 253-257.
- Lam, T. K., Cross, A. J., Consonni, D., Randi, G., Bagnardi, V., Bertazzi, P. A., ... & Landi, M. T. (2009). Intakes of red meat, processed meat, and meat mutagens increase lung cancer risk. *Cancer research*, 69(3), 932-939.
- Lara, J. A. F., Senigalia, S. W. B., Oliveira, T. C. R. M., Dutra, I. D. S., Pinto, M. F., & Shimokomaki, M. (2003). Evaluation of survival of *Staphylococcus aureus* and *Clostridium botulinum* in charqui meats. *Meat science*, 65(1), 609-613.

- Laroche, M. (1988). La cuisson. In J. P. Girard (Ed.), *Technologie de la viande et des produits carnés* (33-82). Paris, France : Editions Tec & Doc, Lavoisier.
- Larsson, B. K. (1982). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 174(2), 101-107.
- Larsson, C. S., Orsini, N., & Wolk, A. (2006). Processed Meat Consumption and Stomach Cancer Risk: A Meta-Analysis. *Journal of the National Cancer Institute*, 98(15), 1078-1087.
- Laurent, C. (1981). *Conservation des produits d'origine animale en pays chauds*. Paris, France : ACCT.
- Ledesma, E., Rendueles, M., & Díaz, M. (2014). Benzo(a)pyrene penetration on a smoked meat product during smoking time. *Food Additives & Contaminants:Part A*, 31(10), 1688-1698.
- Ledesma, E., Rendueles, M., & Díaz, M. (2015). Spanish smoked meat products: Benzo(a)pyrene (BaP) contamination and moisture. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 87-94.
- Ledesma, E., Laca, A., Rendueles, M., & Díaz, M. (2016b). Texture, colour and optical characteristics of a meat product depending on smoking time and casing type. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 164-172.
- Ledesma, E., Rendueles, M., & Díaz, M. (2016a). Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, 60, 64-87.
- Lee, J.S. (1992). Microbiological considerations in surimi manufacturing. In T. C. Lanier & C. M. Lee (Eds.), *Surimi Technology* (113-121). New York, NY : Marcel Dekker, Inc.
- Lefebvre, A. (2003). L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception! : ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. Application aux emballages. *10<sup>ème</sup> Séminaire CONFERE*, 3-4 Juillet 2003, Belfort – France, 3-11.
- Leistner, L. (1985). Hurdle technology applied to meat products intermediate moisture foods. In D. Simatos & J. L. Multon (Eds.), *Properties of Water in Foods* (309-329). Dordrecht, Pays-Bas : Martinus Nijhoff Publishers.
- Leistner, L., & Rödel, W. (1976). The stability of intermediate moisture food with respect to microorganism, In R. Davies, G. G. Birch, K. J. Parker (Eds.), *Intermediate Moisture Foods* (120-137), London, United Kingdom : Applied Science Publishers.

- Leroy, S., Giammarinaro, P., Chacornac, J. P., Lebert, I., & Talon, R. (2010). Biodiversity of indigenous staphylococci of naturally fermented dry sausages and manufacturing environments of small-scale processing units. *Food Microbiology*, 27(2), 294-301.
- Lewis, H. E., Masterton, J. P., & Ward, P. G. (1957). The food value of biltong (South African dried meat) and its use on expeditions. *British Journal of Nutrition*, 11(1), 5-12.
- Lijinsky, W. (1990). In vivo testing for carcinogenicity. In *Chemical Carcinogenesis and Mutagenesis I* (179-209). Berlin Heidelberg, Allemagne: Springer.
- Lijinsky, W., & Ross, A. E. (1967). Production of carcinogenic polynuclear hydrocarbons in the cooking of food. *Food and Cosmetic Toxicology*, 5, 343-347.
- Lijinsky, W., & Shubik, P. (1965). The detection of polycyclic aromatic hydrocarbons in liquid smoke and some foods. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 7(2), 337-343.
- Lintas, C., De Matthaeis, M. C., & Merli, F. (1979). Determination of benzo [a] pyrene in smoked, cooked and toasted food products. *Food and cosmetics toxicology*, 17(4), 325-328.
- Lo, M. T., & Sandi, E. (1978). Polycyclic aromatic hydrocarbons (polynuclears) in foods. In F. A. Gunther, & J. D. Gunther (Eds), *Residue reviews*. Residues of pesticides and other contaminants in the total environment, (vol. 69, 35-86). NY : Springer.
- Loi n° 2006-030 du 24 novembre 2006 relative à l'élevage à Madagascar.
- Maga, J.A. (1988). *Smoke in Food Processing*. Boca Ratón, FL : CRC Press, Inc.
- Mansour, E. H., & Khalil, A. H. (2000). Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application to ground beef patties. *Food Chemistry*, 69(2), 135-141.
- Marra, A. I., Salgado, A., Prieto, B., & Carballo, J. (1999). Biochemical characteristics of dry-cured lacón. *Food Chemistry*, 67(1), 33-37.
- Martín, B., Garriga, M., Hugas, M., Bover-Cid, S., Veciana-Nogues, M .T., & Aymerich, T. (2006). Molecular, technological and safety characterization of Gram-positive catalase-positive cocci from slightly fermented sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 107(2), 148-158.
- Martineau, F., Picard, F. J., Ke, D., Paradis, S., Roy, P. H., Ouellette, M., & Bergeron, M. G. (2001). Development of a PCR assay for identification of staphylococci at genus and species levels. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(7), 2541-2547.

- Mauriello, G., Casaburi, A., Blaiotta, G., & Villani, F. (2004). Isolation and technological properties of coagulase negative staphylococci from fermented sausages of Southern Italy. *Meat Science*, 67(1), 149-158.
- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). Overall difference tests: does a sensory difference exist between samples. *Sensory Evaluation Techniques*, 4, 63-104.
- Mekhtiche, L., & Martin, J. L. (2002). Quelques réflexions sur la conduite de la cuisson: valeur cuisatrice. *Bulletin de liaison du CTSCCV*, 12(2), 3-5.
- Melo, A., Viegas, O., Petisca, C., Pinho, O., & Ferreira, I. M. (2008). Effect of beer/red wine marinades on the formation of heterocyclic aromatic amines in pan-fried beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22), 10625-10632.
- Mhlambi, S. G., Naidoo, K., & Lindsay, D. (2010). Enterotoxin-producing *Staphylococcus* strains associated with South African biltong at point of sale. *Journal of Food Safety*, 30(2), 307-317.
- Ministère de l'Agriculture (MINAGRI). (2012). Statistiques agricoles, Annuaire 2009-2010.
- Molet, L. (1978). Le feu domestique et la cuisine chez les Merina (Madagascar). In *La cuisine: vocabulaire, activités, représentations. Asie du Sud-Est et Monde Insulindien Paris*, 9(3-4), 49-66.
- Moret, S., & Conte, L. S. (2002). A rapid method for polycyclic aromatic hydrocarbon determination in vegetable oils. *Journal of Separation Science*, 25, 96-100.
- Moskowitz, H. R. (1985). *New directions for product testing and sensory analysis of foods*. CT: Food and Nutrition Press, Inc.
- Nagase, N., Sasaki, A., Yamashita, K., Shimizu, A., Wakita, Y., Kitai, S., & Kawano, J. (2002). Isolation and species distribution of staphylococci from animal and human skin. *Journal of Veterinary Medical Science*, 64(3), 245-250.
- Naidoo, K., & Lindsay, D. (2010). Survival of *Listeria monocytogenes*, and enterotoxin-producing *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus pasteurii*, during two types of biltong-manufacturing processes. *Food Control*, 21(7), 1042-1050.
- Nakajima, D., Nagame, S., Kuramochi, H., Sugita, K., Kageyama, S., Shiozaki, ... & Goto, S. (2007). Polycyclic aromatic hydrocarbon generation behavior in the process of carbonization of wood. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 79(2), 221-225.
- NF EN ISO 4833: 2003. Microbiologie des aliments - Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes - Technique de comptage des colonies à 30°C.



- NF EN ISO 6887-1: 1999. Microbiologie des aliments – Préparation des échantillons, de la suspension mère et des dilutions décimales en vue de l'examen microbiologique – Partie 1: règles générales pour la préparation de la suspension mère et des dilutions décimales.
- NF EN ISO 6887-2: 2003. Microbiologie des aliments – Préparation des échantillons, de la suspension mère et des dilutions décimales en vue de l'examen microbiologique – Partie 2: Règles spécifiques pour la préparation des viandes et produits à base de viande.
- NF ISO 16649-2: 2001. Microbiologie des aliments -- Méthode horizontale pour le dénombrement des *Escherichia coli*  $\beta$ -glucuronidase positive -- Partie 2: Technique de comptage des colonies à 44 degrés C au moyen de 5-bromo-4-chloro-3-indolyl  $\beta$ -D-Glucuronate.
- Nordholm, L., Espensen, I. M., Jensen, H. S., & Holst, E. (1986). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smokehouses. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 614-618.
- Norman, G. A., & Corte, O. O. (1985). *Dried salted meats: charque and carne-de-sol*. Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). FAO Animal Production and Health Paper.
- Nortjé, K., Buys, E. M., & Minnaar, A. (2005). Effect of  $\gamma$ -irradiation on the sensory quality of moist beef biltong. *Meat Science*, 71(4), 603-611.
- Ogbonnaya, C. & Imodiboh, L. I. (2009). Influence of storage conditions on shelf-life of dried beef product (Kilishi). *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(1), 34-39.
- Ohlsson, T. (1980). Temperature dependence of sensory quality changes during thermal processing. *Journal of Food Science*, 45(4), 836-839.
- Okona-Mensah, K. B., Battershill, J., Boobis, A., & Fielder, R. (2005). An approach to investigating the importance of high potency polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the induction of lung cancer by air pollution. *Food and chemical Toxicology*, 43(7), 1103-1116.
- Olmedilla-Alonso, B., Jiménez-Colmenero, F., & Sánchez-Muniz, F. J. (2013). Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Science*, 95(4), 919-930.
- O'Mahony, M. (1986). *Sensory evaluation of food: statistical methods and procedures* (Vol. 16). NY : Marcel Dekker, Inc.
- OMS. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe*. World Health Organization. Copenhagen 2nd
- Papamaloni, E., Kotzekidou, P., Tzanetakis, N., & Litopoulou-Tzanetaki, E. (2002). Characterization of *Micrococaceae* isolated from dry fermented sausage. *Food Microbiology*, 19, 441-449.

- Parka, S. S., Kima, Y. J., & Kang, C. H. (2002). Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment*, 36, 2917–2924.
- Pearson, A. M., & Gillett, T. A. (1996). *Processed meats*. (3<sup>ème</sup> édition). Dordrecht, Pays-Bas : Springer-Science+Business Media.
- Petit, T., Caro, Y., Petit, A. S., Santchurn, S. J., & Collignan, A. (2014). Physicochemical and microbiological characteristics of biltong, a traditional salted dried meat of South Africa. *Meat Science*, 96(3), 1313-1317.
- Phillips, D. H. (1999). Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 443(1), 139-147.
- Pintado, A. I., Monteiro, M. J., Talon, R., Leroy, S., Scislawski, V., Flidel, G., ... & Pintado, M. M. E. (2016). Consumer acceptance and sensory profiling of reengineered kitoza products. *Food chemistry*, 198, 75-84.
- Pöhlmann, M., Hitzel, A., Schwägele, F., Speer, K., & Jira, W. (2012). Contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in Frankfurter-type sausages depending on smoking conditions using glow smoke. *Meat Science*, 90(1), 176-184
- Poligné, I., Collignan, A., & Trystram, G. (2001). Characterization of traditional processing of pork meat into boucané. *Meat Science*, 59(4), 377-389.
- Polka, J., Rebecchi, A., Pisacane, V., Morelli, L., & Puglisi, E. (2015). Bacterial diversity in typical Italian salami at different ripening stages as revealed by high-throughput sequencing of 16S rRNA amplicons. *Food Microbiology*, 46, 342–356.
- Porphyre, V., Rasamoelina-Andriamanivo, H., Rakotoarimanana, A., Rasamoelina, O., Bernard, C., Jambou, R., & Cardinale, E. (2015). Spatio-temporal prevalence of porcine cysticercosis in Madagascar based on meat inspection. *Parasites & vectors*, 8(1), 391-398.
- Potthast, K. (1979). The influence of smoking technology on the composition of polycyclic hydrocarbons in smoked meat products, smoke condensates and in waste gases from smoking plant. *Fleischwirtschaft*, 10, 1515-1523.
- Purnomo, H. (2011). Physico-chemical and microbial quality of indigenous Indonesianspicy dried meat. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(2), 133-138.
- Purriños, L., Bermúdez, R., Temperán, S., Franco, D., Carballo, J., & Lorenzo, J. M. (2011). Influence of salt content and processing time on sensory characteristics of cooked “lacón”. *Meat science*, 87(4), 436-442.

- Quelhas, I., Petisca, C., Viegas, O., Melo, A., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2010). Effect of green tea marinades on the formation of heterocyclic aromatic amines and sensory quality of pan-fried beef. *Food Chemistry*, 122(1), 98-104.
- Raharolahy, L. (2004). Le bœuf dans la société traditionnelle malgache. Téléchargé à partir de <https://www.google.mg/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjbwuOS1ozSAhXEXRoKHduSCIMQFggYMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.naturevolution.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2010%2F07%2FLE-BOEUF-DANS-LA-SOCIETE-TRADITIONNELLE-MALGACHE.pdf&usg=AFQjCNFTKGsXnk9WrqdQ1dWOU1mp-OZy4w&bvm=bv.146786187,d.d2s> le 10 mars 2011.
- Ralaifenanana, F. R. (2009). Analyse de la situation nationale des technologies agricoles et de la dissémination à Madagascar – Rapport. Southern African Development Community. Programme Multi-Pays de la Productivité Agricole de la SADC.
- Ramamonjisoa, F. (2001). *Tantaran' i Madagasikara isam-paritra*. Antananarivo, Madagascar : T. P. F. L. M.
- Rantsiou, K., Iacumin, L., Cantoni, C., Comi, G., & Cocolin, L. (2005). Ecology and characterization by molecular methods of *Staphylococcus* species isolated from fresh sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 97(3), 277-284.
- Rasambainarivo, J. H. & Ranaivoarivelo, N. (2003). *Profil fourrager Madagascar*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Rasamoelina-Andriamanivo, H., Porphyre, V. & Jambou, R. (2013). Control of cysticercosis in Madagascar: beware of pitfalls. *Trends in parasitology*, 29(11), 538-547.
- Rasoarifetra, B. (2012). La viande de zébu ou *hena omby* dans les traditions malagasy. *Taloha*, 20. <http://www.taloha.info/document.php?id=1228> consulté le 25 Juillet 2016.
- Ratsimba, A. I. (2012). *Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques du kitoza de boeuf* (Mémoire de DEA : Biochimie). Université d'Antananarivo, Madagascar, 55.
- Razanamandimby, L. (2013). *Restitution et invention d'une mémoire en Imerina (Madagascar) : la commensalité, révélatrice de l'organisation sociale?* Rencontre nationale des jeunes chercheurs en études africaines 11 et 12 janvier 2013 – Paris.
- Règlement (CE) n° 2073/2005 de la commission du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). Journal officiel de l'Union européenne. Règlement 2073/2005/CE du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. JOL 338/1 du 22.12.2005.

- Règlement (UE) n° 835/2011 de la commission du 19 août 2011 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). Journal officiel de l'Union européenne.
- Resurreccion, A.V.A. (2004). Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Science*, 66(1), 11-20.
- Reyes-Cano, R., Dorantes-Alvarez, L., Hernandez-Sanchez, H., & Gutierrez-Lopez, G. F. (1994). A traditional intermediate moisture meat: Beef cecina. *Meat science*, 36(3), 365-370.
- Ribot, J.-J. (1993). Le rôle du vétérinaire dans la prévention des toxi-infections alimentaires. *Terre Malgache. Tany Malagasy*, 23, 47-52.
- Richez, P. (décembre 1972-janvier 1973). Les difficultés de l'élevage porcin traditionnel à Madagascar. *Terre Malgache. Tany Malagasy*, 14, 59-75.
- Roseiro, L. C., Gomes, A., & Santos, C. (2011). Influence of processing in the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Portuguese traditional meat product. *Food and Chemical Toxicology*, 49(6), 1340-1345.
- Rousset, D., Randriamparany, T., Maharavo Rahantamalala, C. Y., Randriamahefa, N., Zeller, H., Rakoto-Andrianarivelo, M., & Roger, F. (2001). Introduction de la Peste Porcine Africaine à Madagascar, histoire et leçons d'une émergence. *Archives de l'Institut Pasteur de Madagascar*, 67(1-2), 31-33.
- Sainclivier, M. (1985). *L'industrie alimentaire halieutique, volume II : Des techniques ancestrales à leurs réalisations contemporaines*. Rennes, France : Ensa.
- Samelis, J., Metaxopoulos, J., Vlassi, M., & Pappa, A. (1998). Stability and safety of traditional Greek salami – a microbiological ecology study. *International Journal of Food Microbiology*, 44(1), 69–82.
- Santchurn, S. J., Arnaud, E., Zakhia-Rozis, N., & Collignan, A. (2012). Drying: principles and applications. In: Hui Y. H. (Ed), *Handbook of Meat and Meat Processing* (505-521). Bosa Roca, FL : CRC Press Inc/Taylor and Francis Group.
- Santos, C., Gomes, A., & Roseiro, L. C. (2011). Polycyclic aromatic hydrocarbons incidence in Portuguese traditional smoked meat products. *Food and chemical toxicology*, 49(9), 2343-2347.
- Seow, A., Poh, W. T., Teh, M., Eng, P., Wang, Y. T., Tan, W. C., Yu, M. C., & Lee, H. P. (2000). Fumes from meat cooking and lung cancer risk in Chinese women. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 9(11), 1215-1221.

- Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., & Gou, P. (2005). Texture parameters of dry-cured ham m. biceps femoris samples dried at different levels as a function of water activity and water content. *Meat Science*, 69(2), 249-254.
- Serres, 1973 (décembre 1972-janvier 1973). Le zébu malgache face aux besoins en viande. *Terre Malgache. Tany Malagasy*, 14, 39-57.
- Shah, M. A., Don Bosco S. J., & Mir, S. A. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98(1), 21-33.
- Shamsuddeen, U. (2009). Microbiological quality of spice used in the production of kilishi a traditionally dried and grilled meat product. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 2(2), 66-69.
- Sharma, R. K., Chan, W. G., & Hajaligol, M. R. (2006). Product compositions from pyrolysis of some aliphatic  $\alpha$ -amino acids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 75(2), 69-81.
- Simonová, M., Stropfová, V., Marcináková, M., Lauková, A., Vesterlund, S., Moratalla, M. L., ... & Vidal-Carou, C. (2006). Characterization of *Staphylococcus xylosus* and *Staphylococcus carnosus* isolated from Slovak meat products. *Meat Science*, 73, 559-564.
- Šimko, P. (2002). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. *Journal of Chromatography B*, 770(1), 3-18.
- Société Scientifique d'Hygiène Alimentaire (SSHA). (1998). *Évaluation sensorielle. Manuel méthodologique* (2<sup>ème</sup> édition). Paris, France: Editions Tec & Doc, Lavoisier.
- Steck, S. E., Gaudet, M. M., Eng, S. M., Britton, J. A., Teitelbaum, S. L., Neugut, A. I., ... & Gammon, M. D. (2007). Cooked meat and risk of breast cancer - lifetime versus recent dietary intake. *Epidemiology*, 18(3), 373-382.
- Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P., & Gargova, S. (2007). Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). *Food Chemistry*, 102(3), 764-770.
- Stolyhwo, A. & Sikorski, A. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review. *Food Chemistry*, 91(2), 303-311.
- Stumpe-Vīksna, I., Bartkevičs, V., Kukāre, A., & Morozovs, A. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chemistry*, 110(3), 794-797.
- Suchanová, M., Hajslová, J., Tomaniová, M., Kocourek, V., & Babicka, L. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked cheese. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(8), 1307-1317.

- Sundararajan, N., Ndife, M., Basel, R., & Green, S. (1999). Comparison of sensory properties of hamburgers cooked by conventional and carcinogen reducing safe grill equipment. *Meat Science*, 51(4), 289-295.
- Sveinsdóttir, K., Martinsdóttir, E., Green-Petersen, D., Hyldig, G., Schelvis, R., & Delahunty, C. (2008). Sensory characteristics of different cod products related to consumer preferences and attitudes. *Food Quality and Preference*, 20(2), 120-132.
- Talon, R., Walter, D., Chartier, S., Barière, C., & Montel, M. C. (1999). Effect of nitrate and incubation conditions on the production of catalase and nitrate reductase by staphylococci. *International Journal of Food Microbiology*, 52, 47-56.
- Taormina, P. J. (2010). Implications of salt and sodium reduction on microbial food safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(3), 209-227.
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 37(1), 44-48.
- Tayel, A. A., & El-Tras W. F. (2012). Plant extracts as potent biopreservatives for *Salmonella typhimurium* control and quality enhancement in ground beef. *Journal of Food Safety*, 32(1), 115-121.
- Taylor, M. B. (1976) Changes in microbial flora during biltong production. *South African Food Review*, 3(2), 120-123.
- Tfouni, S. A. V., Vitorino, S. H. P., & Toledo, M.C.F. (2007). Effect of the process on the contamination of sugar cane and its by-products by polycyclic aromatic hydrocarbons. *Ciencia e Tecnologia Alimentos*, 27(1), 76-82.
- Tilgner, D. J. (1977). The phenomena of quality in the smoke curing process. *Pure and Applied Chemistry*, 49(11), 1629-1638.
- Tom, A. (2015). *Contribution au séchage solaire des produits carnés: modélisation et réalisation d'un séchoir adapté aux pays tropicaux* (Thèse de Doctorat). ParisTech, Paris, France, 231.
- Torres, E. A. F. S., Shimokomaki, M., Franco, B. D. G. M, & Landgraf, M. (1994). Parameters Determining the Quality of Charqui, an Intermediate Moisture Meat Product. *Meat Science*, 38(2), 229-234.
- Toth, L. & Blaas, W. (1973). Der Gehalt gegrillter Fleischerzeugnisse an cancerogenen Kohlenwasserstoffen, *Fleischwirtsch*, 53, 1456-1459.

- Toth, L., & Potthast, K. (1984). Chemical aspects of the smoking of meat and meat products. In C. O. Chichester, E. M. K. Mrak & B.S. Schweigert (Eds.), *Advances in food research* (Vol. 29, 87-158). NY : Academic Press.
- Tribune madagascar.com. Levée de l’embargo sous conditions. Article du 11 juillet 2007. Consulté le 04 Août 2016. [www.madagascar-tribune.com/Levee-de-l-embargo-sous-conditions,1059.html](http://www.madagascar-tribune.com/Levee-de-l-embargo-sous-conditions,1059.html)
- Troche, S. V., García Falcón, M.S., Amigo, S. G., Yusty, M.A. L., & Lozano, J. S. (2000). Enrichment of benzo[a]pyrene in vegetable oils and determination by HPLC-FL. *Talanta*, 51(6), 1069–1076.
- Tsai, P. J., Shieh, H. Y., Lee, W. J., & Lai, S. O. (2001). Health-risk assessment for workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a carbon black manufacturing industry. *Science of the total environment*, 278(1), 137-150.
- Tuominen, J. P., Pyysalo, H. S., & Sauri, M. (1988). Cereal products as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of agricultural and food chemistry*, 36(1), 118-120.
- Vaessen, H. A. M. G., Jekel, A. A., & Wilbers, A. A. M. M. (1988). Dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 16(4), 281-294.
- Van den Heever, L.W. (1970). Some public health aspects of biltong. *Journal of the South African Veterinary Medicine Association*, 41(4), 263-272.
- Van der Riet, W. B. (1976). Studies on the mycoflora of biltong. *South African Food Review*, 3, 105-111
- Van der Riet, W. B. (1982). Biltong a South African dried meat product. *Fleischwirtschaft*, 62(8), 1000-1001.
- VanRooij, J. G. M., De Roos, J. H. C., Bodelier-Bade, M. M., & Jongeneelen, F. J. (1993a). Absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons through human skin: differences between anatomical sites and individuals. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A Current Issues*, 38(4), 355-368.
- VanRooij, J. G., Bodelier-Bade, M. M., & Jongeneelen, F. J. (1993b). Estimation of individual dermal and respiratory uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons in 12 coke oven workers. *British Journal of Industrial Medicine*, 50(7), 623-632.
- Viegas, O., Amaro, L. F., Ferreira, I. M., & Pinho, O. (2012b). Inhibitory effect of antioxidant-rich marinades on the formation of heterocyclic aromatic amines in pan-fried beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(24), 6235-6240.
- Viegas, O., Novo, P., Pinto, E., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2012a). Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines

- (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. *Food and Chemical Toxicology*, 50(6), 2128-2134.
- Viegas, O., Yebra-Pimentel, I., Martínez-Carballo, E., Simal-Gandara, J., & Ferreira, I. M. (2014). Effect of beer marinades on formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(12), 2638-2643.
- Vilar, I., Fontán, G., Prieto, B., Tornadizo, M. E., & Carballo, J. (2000). A survey on the microbiological changes during the manufacture of dry-cured lacón, a Spanish traditional meat product. *Journal of Applied Microbiology*, 89(6), 1018-1026.
- Villani, F., Casaburi, A., Pennacchia, C., Filosa, L., Russo, F., Ercolini, D., 2007. Microbial ecology of the soppressata of Vallo di Diano, a traditional dry fermented sausage from Southern Italy, and in vitro and in situ selection of autochthonous starter cultures. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(17), 5453-5463.
- Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., & Elias, L. G. (1991). *Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments* (traduit par Secrétariat d'Etat). Ottawa, Canada : Centre de recherches pour le développement international.
- Wenzl, T., Simon, R., Kleiner, J., & Anklam, E. (2006). Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food and the environment needed for new food legislation in the European Union. *Trends in Analytical Chemistry*, 25(7), 716-725.
- Werlich, M. (2001). Fumage du poisson et fours de fumage. <http://www.gate-international.org/food.htm>
- Wester, R. C., & Maibach, H. I. (2005). Regional Variation in Percutaneous Absorption. In R. L. Bronaugh & H. I. Maibach, *Percutaneous Absorption: Drugs, Cosmetics, Mechanisms, Methods* (85-93). Boca Raton, FL: CRC Press.
- White, R. H., Howard, J. W., & Barnes, C. J. (1971). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in liquid smoke flavors. *Journal of agricultural and food chemistry*, 19(1), 143-146.
- Woods, L. (2003). Smoked foods, principles. In B. Caballero, L. Trugo & P. Flingas (Eds.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2<sup>nd</sup> ed., 5296-5301). Cambridge, Mass. : Academic Press
- Yacouba, I. (2010). *Analyse des techniques traditionnelles de transformation de la viande en Kilichi dans la commune urbaine de Madaoua (république du Niger)*, 51.
- Yang, S. K., McCourt, D. W., & Leutz, J. C. (1977). Benzo(a)pyrene diol-epoxides Mechanism of enzymatic formation and optically active intermediates. *Science*, 196(4295), 1199-1201.



- Yoon, E., Park, K., Lee, H., Yang, J. H., & Lee, C. (2007). Estimation of excess cancer risk on time-weighted lifetime average daily intake of PAHs from food ingestion. *Human and Ecological Risk Assessment*, 13(3), 669-680.
- Yusty, L. M. A., & Davina, C. J. L. (2005). Supercritical fluid extraction and high performance liquid chromatography fluorescence detection method polycyclic aromatic hydrocarbons investigation in vegetable oil. *Food Control*, 16(1), 59–64.
- Zheng, W., Gustafson, D. R., Moore, D., Hong, C. P., Anderson, K. E., Kushi, L. H., Sellers T. A. & Cerhan, J. R. (1998). Well-done meat intake and the risk of breast cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 90(22), 1724-1729.

## **Articles scientifiques**

Ratsimba, A., Leroy, S., Chacornac, J. P., Rakoto, D., Arnaud, E., Jeannoda, V., & Talon, R. (2017). Staphylococcal ecosystem of kitoza. a traditional Malagasy salted/dried/smoked meat product. *International Journal of Food Microbiology*, 246, 20-24.

Ratsimba, A., Rakoto, D., Arnaud, E., Goli, T., Ricci, J., Jeannoda, V., Pallet, D., & Rivier, M. Improving the smoking process of kitoza, a traditionnal malagasy meat product. (2014). Actes des journées scientifiques QualiREG 2012-2014. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 67(3), 99-100.

## **Communications affichées**

Ratsimba, A., Rakoto, D., Arnaud, E., Goli, T., & Jeannoda, V. Caractéristiques physico-chimiques et sensorielles du kitoza amélioré. *Salon de la recherche*, 3<sup>ème</sup> édition, Université d'Antananarivo, Madagascar, 20-21 octobre 2016.

Ratsimba, A., Ricci, J., Rakoto, D., Jeannoda, V., Arnaud, E., & Goli, T. Réingénierie du fumage du kitoza. *Salon de la recherche*, 2<sup>ème</sup> édition, Université d'Antananarivo, Madagascar, 15-16 octobre 2015.

Ratsimba, A., Ricci, J., Rakoto, D., Arnaud, E., Goli, T., Rivier, M., Jeannoda, V., & Pallet, D. Reengineering of the smoking of kitoza, a traditional Malagasy meat product. *AFTER Congress*, 11-12 novembre 2014, Hôtel Ngor Diarama, Dakar, Sénégal.

Ratsimba, A., Rakoto, D. A. D., Jeannoda, V., Talon, R., & Arnaud, E. Characterization of traditional processing of kitoza, a salted/dried/smoked meat product from Madagascar. *20<sup>th</sup> South African Association for Food Science and Technology SAAFoST Congress*, Pretoria, South Africa, 7-9 october 2013 ; *Journées Qualireg*, Saint Pierre, la Reunion, 19 au 21 novembre 2013.

Ratsimba, A., Rakoto, D. A. D., Jeannoda, V., Arnaud, E., Loiseau, G., Chacornac, J. P., Leroy, S., & Talon, R. Diversity of staphylococcal species in pork and beef Kitoza. *20<sup>th</sup> South African Association for Food Science and Technology SAAFoST Congress*, Pretoria, South Africa, 7-9 october 2013 ; *Journées Qualireg*, Saint Pierre, la Réunion, 19 au 21 novembre 2013 ; *FoodMicro*, 24<sup>th</sup> International ICFMH Conference, Nantes, France, septembre 2014.

Jeannoda, V., Ratsimba, A. I., Andriamampianina, H. L., Arnaud, E., & Rakoto, D. A. D. Quality characterization of kitoza, a Malagasy meat product. *EFFOST Annual meeting*, Le Corum, Montpellier, France, 20-23 novembre 2012.

### **Communications orales**

Ratsimba, A., Ramaroson, V., Ricci, J., Rakoto, D., Arnaud, E., Goli, T., Pallet, D., & Jeannoda, V. Réingénierie du kitoza et analyses sensorielles des produits améliorés. *Journées Qualireg 4*, IUT Saint Pierre, la Réunion, 28 novembre-2 décembre 2016.

Ratsimba, A., Ricci, J., Rakoto, D., Goli, T., Jeannoda, V., & Arnaud, E. Réingénierie du fumage du kitoza. *Journées des Jeunes Chercheurs*, Université d'Antananarivo, Madagascar, 15-17 décembre 2015.

Ratsimba, A., Rakoto, D., Arnaud, E., Goli, T., Ricci, J., Jeannoda, V., Pallet, D., & Rivier, M. Amélioration de la conduite du fumage du kitoza, un produit carné traditionnel malgache. *Journées Qualireg*, Hôtel Colbert, Antananarivo, Madagascar, 24-28 novembre 2014.

Ratsimba, A. I., Rakoto, D. A. D., Jeannoda, V., Arnaud, E., Scilowski, V., Goli, T., & Pallet, D. Assessing the processes of kitoza: a traditional Malagasy meat product. *Journées Qualireg*, IUT Saint Pierre, la Réunion, 19-20 novembre 2013.

### **Article dans revue**

Razafison, R. Kitoza: Malagasy delicacy attracts scientific inquiry. Article du 1<sup>er</sup> janvier 2016. *Africa review*, Kenya. Vu sur <http://www.africareview.com/Special-Reports/Malagasy-delicacy-attracts-scientific-inquiry/-/979182/3017772/-/d2x9wy/-/index.html>

# **ANNEXES**

## **ANNEXE 1 : ARTICLES ET POSTERS**

## Caractéristiques physico-chimiques et sensorielles du kitoza amélioré

A. Ratsimba<sup>a</sup>, D. Rakoto<sup>a</sup>, E. Arnaud<sup>b</sup>, T. Goli<sup>b</sup>, V. Jeannoda<sup>a</sup>

<sup>a</sup>UT – Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Madagascar; <sup>b</sup>CIRAD, UMR Qualisud Montpellier, France

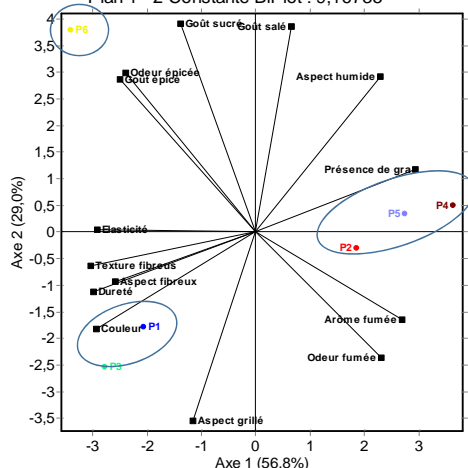
Le kitoza, un produit carné traditionnel malgache à base de viande de bœuf ou de porc, se présente sous forme de lanières salées, séchées au soleil et/ou fumées. Les produits fumés traditionnellement présentaient des teneurs élevées en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), composés cancérigènes, dont le Benzo(a)pyrene (BaP) qui est un indicateur de la contamination des denrées alimentaires. Une réingénierie de l'étape de fumage a été effectuée pour atteindre des teneurs en eau et en phénols proches du produit traditionnel tout en diminuant les teneurs en HAP. Le but de cette étude est d'évaluer les produits réingénierisés sur le plan physico-chimique et sensoriel par rapport aux produits traditionnels.

## Résultats

### Analyses descriptives

A.C.P. des moyennes Pdt./Att.

Plan 1 - 2 Constante BiPlot : 9,16735



P1, P6 : Kitoza de bœuf traditionnel

P4, P5 : Kitoza de porc traditionnel

P2 : Kitoza de porc réingénieré

P3 : Kitoza de bœuf réingénieré

*Analyses en composantes principales (ACP) illustrant la relation entre les descripteurs sensoriels et les kitoza testés (six échantillons)*

### Analyses physico-chimiques

Paramètres	Produit traditionnel	Produits améliorés	
		Bœuf	Porc
Teneur en eau (g/100g)	55,6	58,6±2,4	60,1±5
Teneur en phénols (mg/100g bs)	4,74	4,25±1,39	3,92±0,27
Teneur en B(a)P (µg/kg)	6,92	1,9±0,9	2,2±1,1
Temps	150min cuisson, séchage, fumage	60min cuisson/séchage 15 min fumage	60min cuisson/séchage 15 min fumage
Combustible	Bois	Charbon puis copeaux de bois	Charbon puis copeaux de bois

## Conclusion

L'application du procédé de fabrication amélioré de kitoza a permis d'obtenir des produits similaires à ceux traditionnels concernant les propriétés physico-chimiques et sensorielles. Des études d'acceptabilité par les consommateurs ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les échantillons testés. Le nouveau processus n'a aucun effet sur l'appréciation des consommateurs.

## Méthodologie



### Kitoza fumé

L'étape de cuisson/séchage est effectuée au charbon puis le fumage est réalisé avec des copeaux de bois dans un fumoir en briques dont l'intérieur est recouvert de tôle. Les produits ont été soumis à des analyses sensorielles : 6 échantillons ont été utilisés durant l'analyse descriptive. Lors des tests consommateurs ( $n = 100$ ), 3 échantillons ont été évalués.

### Analyses hédoniques

Code échantillon	Acceptation globale
P6	6,48
P2	6,58
P3	6,81

### Consommation du kitoza fumé

<b>Fréquence</b>	Jamais (25%), rarement (53%), au moins 1 fois/semaine (22%)
<b>Occasion</b>	Petit déjeuner (20%), Dîner (17%), en apéritif (12%)
<b>Accompagnement</b>	Vary sosoa (29%), vary maina (6%), vary amin'anana (6%), consommé tel quel (9%).
<b>Motivation d'achat</b>	Goût (37%), tendreté (13%).
<b>Préférence</b>	Kitoza de porc (29%) Kitoza de bœuf (37%)

Les caractéristiques physico-chimiques du produit réingénieré sont proches du produit traditionnel mais les teneurs en BaP sont conformes au règlement européen qui est de 2µg/kg au maximum.

Le profil sensoriel des produits améliorés selon l'ANOVA et l'ACP est :

- Pour le porc : aspect humide, aspect peu grillé, tendreté, élasticité et une couleur claire
- Pour le bœuf : aspect non humide, aspect grillé, dureté et une couleur sombre
- Il n'existe aucune différence significative concernant l'odeur fumée et épicée, la présence de gras, l'aspect fibreux, les goûts épicé, salé et sucré.

Les trois échantillons ont été "modérément aimés" par les consommateurs. Aucune différence significative n'a été trouvée concernant l'acceptation. Ceci est en accord avec les analyses physico-chimiques qui ont montré que les teneurs en eau et en phénols des produits réingénierés étaient proches de celles des produits traditionnels.

# Réingénierie du fumage du kitoza

A. Ratsimba<sup>a</sup>, J. Ricci<sup>b</sup>, D. Rakoto<sup>a</sup>, V. Jeannoda<sup>a</sup>, E. Arnaud<sup>b</sup>, T. Goli<sup>b</sup>

<sup>a</sup>UT – Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Madagascar; <sup>b</sup>CIRAD, UMR Qualisud Montpellier, France

Le kitoza est un produit carné traditionnel malgache à base de viande de bœuf ou de porc qui se présente sous forme de lanières de 20 à 50 cm de long et de 2 à 4 cm de large. Les lanières sont salées, séchées au soleil et/ou fumées. L'étape de fumage est une étape critique qui peut conduire à des produits présentant des teneurs élevées en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), composés cancérigènes, dont le Benzo(a)pyrene (BaP) qui est un indicateur de la contamination des denrées alimentaires. Un pilotage du fumage a été effectué en vue d'optimiser la conduite du fumage pour atteindre des teneurs en eau et en phénols proches du produit traditionnel tout en diminuant les teneurs en HAP. Le procédé issu de cette réingénierie a été appliqué chez les producteurs.

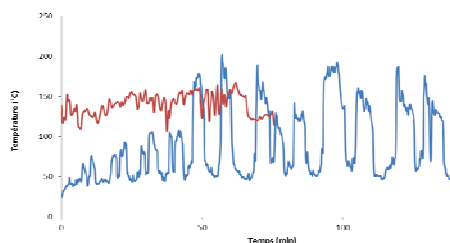


Kitoza fumé

## Méthodologie

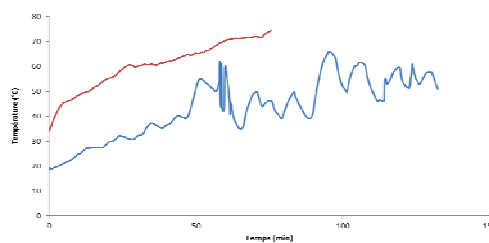
L'étape de cuisson/séchage est effectuée au charbon puis le fumage est réalisé avec des copeaux de bois. Le fumoir utilisé est en briques et l'intérieur est recouvert de tôle. Des cinétiques de température ont été établies et les paramètres physico-chimiques ont été déterminés puis comparés avec ceux du produit traditionnel. Des analyses microbiologiques ont été effectuées sur les produits finis afin d'évaluer la concentration des bactéries au cours du temps.

## Résultats



Evolution des températures d'attaque au cours du temps

**Légende**  
— Produit traditionnel  
— Produit amélioré



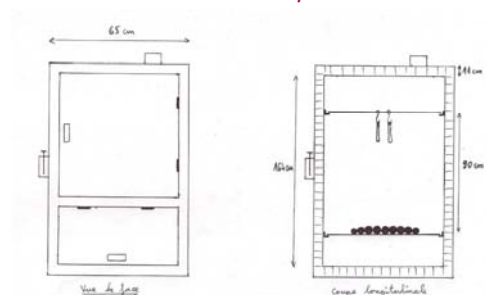
Evolution des températures à cœur au cours du temps

### Caractéristiques physico-chimiques des produits traditionnel et amélioré

	Produit traditionnel	Produit amélioré
Teneur en eau (g/100g)	55,6	59,33±3,7
Teneur en phénols (mg/100g bs)	4,74	4,08±0,92
Teneur en BaP (µg/kg)	6,92	0,84±0,42
Temps	150min cuisson/séchage/fumage	60min cuisson/séchage 10min fumage
Combustible	Bois	Charbon puis copeaux de bois

### Caractéristiques microbiologiques du produit amélioré

	FAMT (log ufc/g)	Bactéries lactiques (log ufc/g)	E. coli (log ufc/g)	Salmonelle (log ufc/g)
J0	3,4±0,5	2,6±0,3	<1	Absence
J4	4°C	3,4±0,6	2,2±0,8	<1
	Température ambiante	8,2±1,0	7,2±0,5	<1
J8	4°C	3,2±0,5	2,1±0,5	<1
	Température ambiante	9,0±1,0	7,5±1,1	<1



Modèle de fumoir utilisé

Les résultats ont montré que le cuisson/séchage au charbon et le fumage avec des copeaux de bois permettent d'avoir des teneurs en BaP conformes au règlement européen qui est de 2µg/kg au maximum. Les caractéristiques physico-chimiques du produit issu du nouveau procédé sont proches du produit traditionnel. Le kitoza fumé est plus hydraté que le biltong (8 – 44%)<sup>1</sup> qui est du boeuf salé/séché d'Afrique du Sud. La teneur en phénols du kitoza est proche du boucané (3 – 7,1 mg/100g)<sup>2</sup> mais supérieure à celle du kundi (0,5 – 1,4 mg/100g)<sup>3</sup> qui sont respectivement de la viande de porc et de boeuf fumée de la Réunion et du Nigeria. Les analyses microbiologiques des kitoza ont montré que la concentration de la flore totale ainsi que des bactéries lactiques était stable à +4°C. Les kitoza conservés à température ambiante ont des charges plus élevées en FAMT que celles du biltong (3 – 8 log ufc/g avec une majorité d'échantillons à 3 log ufc/g, n=20)<sup>4</sup>. A température ambiante, le nombre de bactéries a augmenté avec le temps. Aucun germe pathogène n'a été retrouvé quels que soient le mode et la durée de conservation.

### Références

<sup>1</sup>SANTCHURN J.S., ARNAUD E., ZAKHIA-ROZIS N., COLLIGNAN A., 2011. Drying: Principles and Applications, *Handbook of Meat and Meat Processing*, 521 p.

<sup>2</sup>POLIGNE I., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., 2001. Characterization of traditional processing of pork meat into boucané. *Meat Science* 59, (4) 377-389.

<sup>3</sup>ALONGE D.O., 1987. Factors affecting the quality of smoked dried meats in Nigeria. *Acta Alimentaria* 16, (3) 263-270.

<sup>4</sup>OSTERHOFF D.R., LEISTNER L., 1984. Suid-Afrikaanse bees biltong-wereens onder die soeklig. *Journal of the South African Veterinary Association*, 55 (4), 201-202.



# Reengineering of the smoking of kitoza, a traditional Malagasy meat product

A. Ratsimba<sup>a</sup>, J. Ricci<sup>c</sup>, D. Rakoto<sup>a</sup>, E. Arnaud<sup>b</sup>, T. Goli<sup>c</sup>, M. Rivier<sup>c</sup>, V. Jeannoda<sup>a</sup>, D. Pallet<sup>c</sup>

<sup>a</sup>UT – Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Madagascar; <sup>b</sup>CIRAD, UMR Qualisud, Saint-Denis, France; <sup>c</sup>CIRAD, UMR Qualisud Montpellier, France

## Introduction

Kitoza is a Malagasy traditional meat product previously dedicated to kings and nobles. It is made of beef or pork strips, 20 to 50 cm long and 2 to 4 cm wide, prepared from filet or thin slice. Meat strips are salted then sun-dried and/or smoked. Kitoza has not been subjected to extensive studies before AFTER project. The smoking step can lead to contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) which are carcinogenic compounds. Among them, Benzo(a)pyrene (BaP) is a good indicator of carcinogenic compound contamination of cooked and smoked meat products. At the end of the smoking process, the BaP content in kitoza was found to be higher than the 2µg/kg European standard in 15 smoked kitoza samples among the 31 analyzed from local producers.

The aim of this study was to improve the smoking process of kitoza by adjusting the smoking parameters (duration, temperature, using of sawdust and charcoal). The final objective is to improve quality and safety of the products so as to find out new local and international (European) market opportunities.

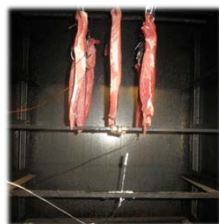
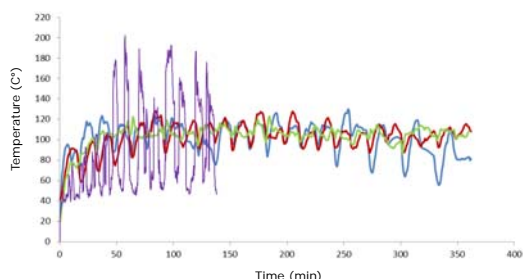
## Methodology

Pork ham strips were used and smoked either with wood or a combination of charcoal and sawdust. Kinetics of hot air and food core temperatures, together with water, BaP and phenol content were established. Results were reported by comparison with those obtained during a previous characterization of a Malagasy producer process.

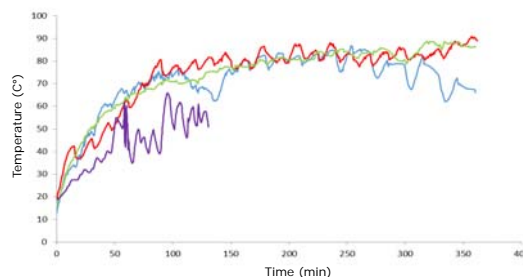


Smoking unit

## Results

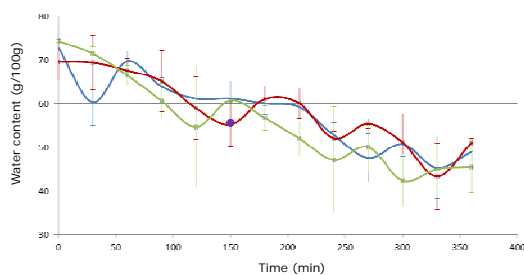


Kitoza in the smoking unit



Core temperature evolution

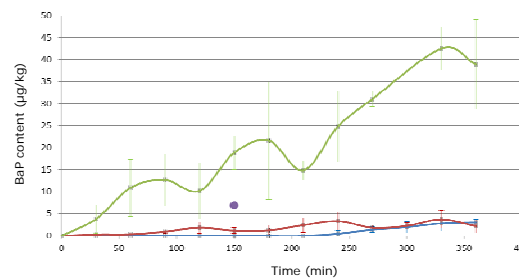
**Evolution of hot air temperature in contact with the meat:** wood, charcoal and sawdust addition were monitored in order to obtain attack temperature of 100°C which is the mean temperature of the Malagasy producer process.



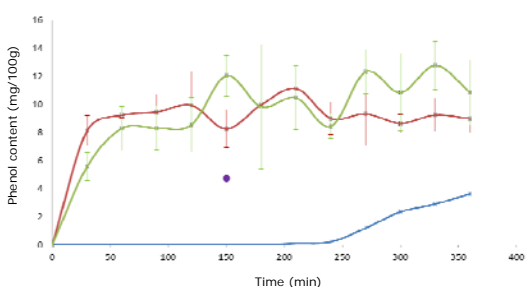
Water content



Smoked kitoza



BaP content



Phenol content

### Legend

- charcoal-sawdust (4h – 2h)
- sawdust-charcoal (2h – 4h)
- wood
- Malagasy producer

## Conclusion

Results show that compared to smoking with wood, the separation of unit operations of cooking/drying with charcoal and smoking with sawdust allow similar decrease of water content with lower BaP content increase. The increase of phenol content is lower when cooking/drying with charcoal precedes smoking with sawdust. Cooking/drying with charcoal at 100°C during 4h and smoking with sawdust at 100°C during 2h allows to obtain water content and phenol content similar to the traditional product with a BaP content that remains around the European standard.



# Diversity of staphylococcal species in pork and beef Kitoza

A. RATSIMBA<sup>1</sup>, D. RAKOTO<sup>1</sup>, V. JEANNODA<sup>1</sup>, E. ARNAUD<sup>2</sup>, G. LOISEAU<sup>3</sup>, J. P. CHACORNAC<sup>4</sup>, S. LEROY<sup>4</sup>, R. TALON<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UT, University of Tananarive, Madagascar, <sup>2</sup> UMR QualiSud, CIRAD, Department PERSYST, Montpellier, France

<sup>3</sup>UMR QualiSud Montpellier SupAgro, France; <sup>4</sup> INRA - UR454 Microbiologie, Saint-Genès Champanelle, France

## Introduction

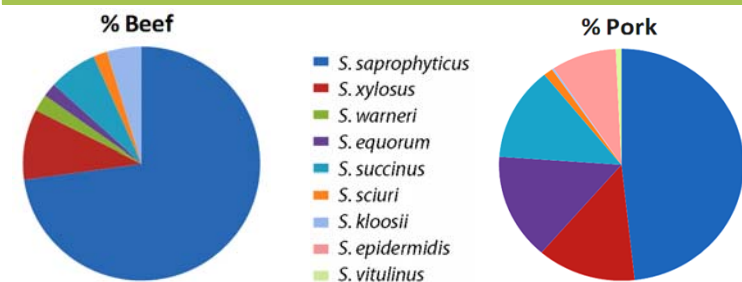
Kitoza is a traditional product from Madagascar manufactured either with strips of pork or beef meat. It is an artisanal product manufactured in rural and urban regions. The first step of the process is salting with coarse salt mixed with spices and then either a drying or smoking step is carried out. The microbiological analyses of these products revealed the presence of bacteria with potential technological interest. Among them, a high level of presumed coagulase negative staphylococci (CNS) was found (5 to 7 log CFU/g). These bacteria seemed well adapted to the two processes drying or smoking. The aim of this work was to identify the CNS species in Kitoza manufactured according the two processes: drying or smoking from pork or beef meat. This accurate identification represented the first step for the potential development of specific starters for Kitoza.



## Methodology

Samples from pork or beef and drying or smoking processes representative of the diversity of the products have been analysed. From these samples, 811 isolates of presumed CNS were isolated from Mannitol Salt agar. For the identification two approaches have been applied. First the isolates were identified by PCR multiplex which allowed identifying the isolates belonging to the *Staphylococcus* genus and the three species *S. epidermidis*, *S. saprophyticus* and *S. xylosus* (Corbière Morot-Bizot et al. 2004 J. Appl. Microbiol. 97: 1087). Secondly the isolates were identified by a "staph array" targeting *sod* gene for the identification of 36 CNS species potentially found in food from animal origin (Giammarinaro et al. 2005 J. Clin. Microbiol. 43: 3673).

## Inventory of the species in beef and pork Kitoza

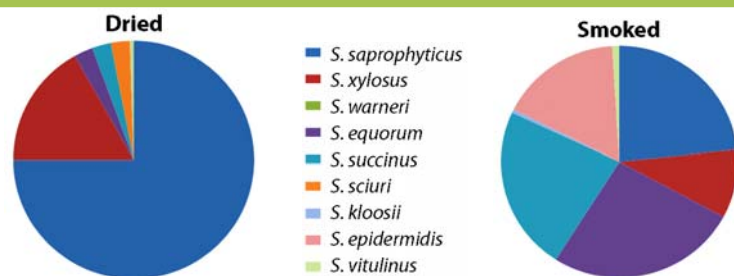


All the 811 isolates belonged to the *Staphylococcus* genus. We have compared the diversity of CNS species in beef and pork Kitoza. Seven species were identified in beef products and 8 species were identified in pork products. The *S. epidermidis* and *S. vitulinus* species were absent in beef products while *S. warneri* was absent in pork products.

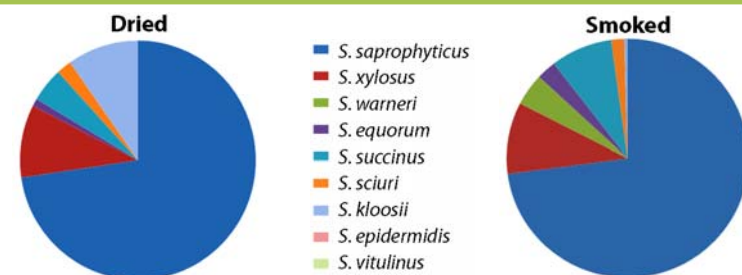
*S. saprophyticus* represented the dominant species in both products. But it was the dominant species (76%) in beef while it represented half of the staphylococcal population (48%) in pork products. The other 50% of the population in pork were shared between *S. xylosus* (13%), *S. equorum* (15%), *S. succinus* (13%) and *S. epidermidis* (9%).

## Impact of the process on the CNS species in pork Kitoza

406 *Staphylococcus* isolates were identified from the pork Kitoza with 210 from smoked and 196 from dried products. The comparison between the dried and smoked samples revealed that *S. kloosii* and *S. epidermidis* were absent in the dried samples while *S. sciuri* was not found in the smoked ones. *S. saprophyticus* represented the major species (75%) with *S. xylosus* the second one (17%) in the dried products. In the smoked products, 5 species (*S. saprophyticus*, *S. xylosus*, *S. equorum*, *S. succinus*, *S. epidermidis*) with almost similar population were identified.



## Impact of the process on the CNS species in beef Kitoza



405 *Staphylococcus* isolates were identified from the beef Kitoza with 211 from smoked and 194 from dried products. The comparison of the dried and smoked samples revealed that *S. saprophyticus* was dominant in both processes: 73% and 79 % for dried and smoked beef, respectively. *S. xylosus* represented 10% of the CNS population in the two processes. But while *S. kloosii* represented 10% of the population in the dried beef, it was minor in the smoked beef. It was the opposite for *S. sciuri* and *S. vitulinus* higher in the smoked than in the dried samples. Furthermore, *S. warneri* was only detected in the smoked beef samples.

## Acknowledgement

This work was funded by EU, AFTER project (grant agreement 245025)  
Coordinated by D. Pallet (CIRAD), UMR Qualisud, Montpellier, France



AFTER

African food tradition revisited by research

# Characterization of traditional processing of kitoza, a salted/dried/smoked meat product from Madagascar

A. Ratsimba<sup>1</sup>, D.A.D. Rakoto<sup>1</sup>, V. Jeannoda<sup>1</sup>, R. Talon<sup>2</sup>, E. Arnaud<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université of Tananarive, Département de Biochimie Fondamentale et Appliquée, Antananarivo, Madagascar; [razayda@yahoo.fr](mailto:razayda@yahoo.fr), [dad.rakoto@yahoo.fr](mailto:dad.rakoto@yahoo.fr), [victor\\_jeannoda@yahoo.fr](mailto:victor_jeannoda@yahoo.fr)

<sup>2</sup>INRA, UR 454 Microbiologie, Saint Genès Champanelle, France; [regine.talon@clermont.inra.fr](mailto:regine.talon@clermont.inra.fr)

<sup>3</sup> CIRAD, UMR QualiSud, St Denis de la Réunion, France; [elodie.arnaud@cirad.fr](mailto:elodie.arnaud@cirad.fr)

K

itoza is a meat product made from strips of beef but also pork meat, very popular in Madagascar

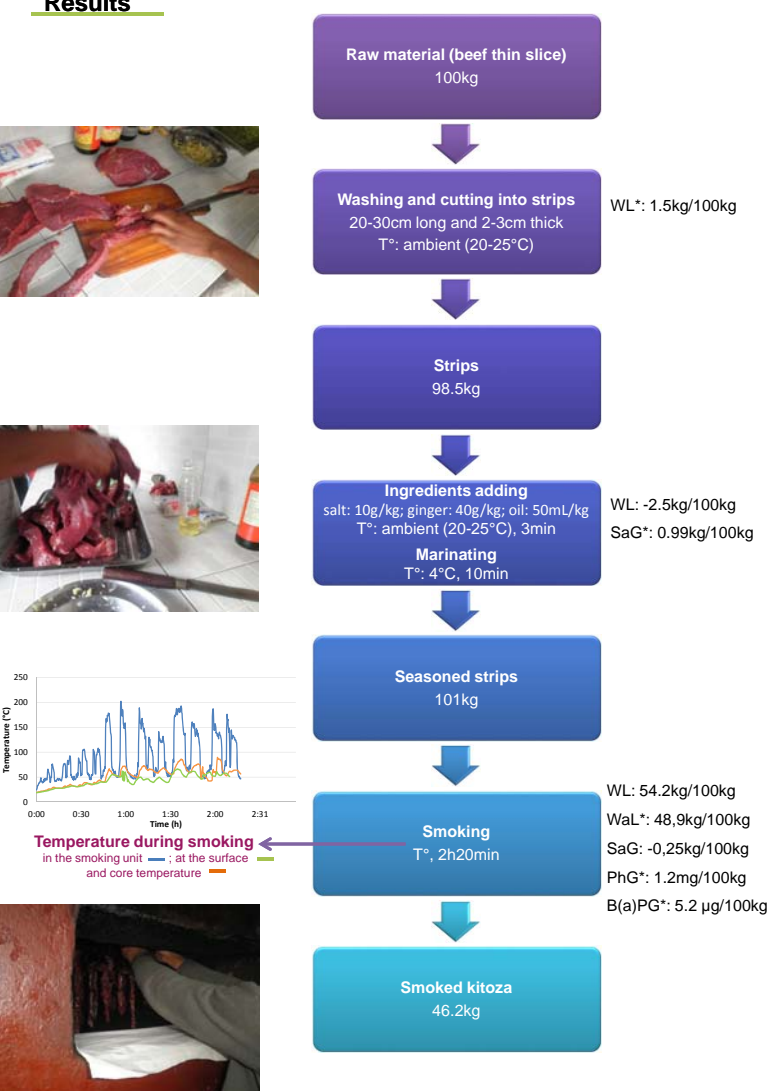
It is produced at familial and artisanal (butchers and a few small firms) levels. Meat strips are salted, sun-dried and/or smoked either above the fire in the kitchen until their consumption, or in smoking units (metal drums or brick built ones). This study describes the process for making smoked beef kitoza in order to define better the unit operations involved and their impact on product quality.



## Methodology

The kitoza making process of an artisanal producer (butcher) of Antananarivo was characterized by a systematic description of the different steps and parameters recording (temperatures, time, meat and ingredients weights). Sampling was undertaken at identified critical production steps in order to determine kinetic evolution of physico-chemical and microbiological characteristics of the product during the process. Mass transfers were thus calculated.

## Results



	Raw material	Strips	Seasoned strips	Smoked kitoza
<b>Lipids (g/100g)</b>	2.2±0.8 <sup>a</sup>	ND	ND	7.0±0.5 <sup>b</sup>
<b>Proteins (g/100g)</b>	23.5±1.6 <sup>a</sup>	ND	ND	33.1±2.0 <sup>b</sup>
<b>Water (g/100g)</b>	76.1±0.6 <sup>a</sup>	74.8±0.4 <sup>a</sup>	74.3±0.7 <sup>a</sup>	55.6±1.8 <sup>b</sup>
<b>Salt (g/100g)</b>	ND	ND	0.99±0.04 <sup>a</sup>	1.61±0.14 <sup>b</sup>
<b>Aw</b>	0.990±0.001 <sup>a</sup>	0.989±0.001 <sup>a</sup>	0.984±0.003 <sup>b</sup>	0.968±0.003 <sup>c</sup>
<b>Phenols (mg/100g)</b>	ND	ND	ND	2.59±0.39
<b>B(a)P (µg/kg)</b>	ND	ND	ND	11.23±1.63
<b>TAMF (log cfu/g)</b>	5.8±0.0 <sup>a</sup>	5.1±0.0 <sup>b</sup>	5.8±0.1 <sup>a</sup>	2.4±0.1 <sup>c</sup>
<b>LAB (log cfu/g)</b>	5.5±0.1 <sup>a</sup>	5.2±0.3 <sup>a</sup>	5.5±0.2 <sup>a</sup>	2.2±0.2 <sup>b</sup>
<b>E. coli (log cfu/g)</b>	1.3±0.6 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>
<b>Salmonella</b>	Absent	Absent	Absent	Absent

n=3 samples. The intervals shown are standard deviation. Within one line, different letters show significant difference at 95%. ND: not determined. TAMF: Total Aerobic Mesophilic Bacteria. LAB: Lactic Acid Bacteria.

The temperature inside the smoking unit (next to the meat strips, 1m20 above the fire) were most of the times between 50 and 100°C the first 45min of smoking and then between 50 and 200°C. Sudden increases of temperature were due to high combustion of wood and decreases to the opening of the door of the smoking unit by the operator. On the surface of the meat it increases to 45°C the first 45min and then reaches up to 90°C. Maximum internal temperature is about 65°C.

Smoked kitoza making process allows decrease of meat water content particularly during smoking. Salt content increases due to dry salting and due to its concentration because of water loss during smoking. Thus, Aw decreases during dry salting and smoking to reach 0.968 ± 0.003. Smoked kitoza is thus classified in the area of foods with high content water contrary to most of Biltongs (8-44% water, 0.60-0.84 aw<sup>1</sup>).

The smoking step allows the combination of unit operations of drying, cooking and smoking. Phenol content of Kitoza is lower compared to Boucané (3.0-7.1 mg/100g)<sup>2</sup> but higher than for Kundi (0.5-1.4 mg/100g)<sup>3</sup> which are respectively pork and beef smoked products from Réunion and Nigeria. But smoking leads to levels of B(a)P higher than French regulation (5µg/kg ; 2µg/kg in 2014).

Considering microbiological parameters, total flora, lactic acid bacteria and E. coli decrease during smoking. Salmonella was not detected in any of the samples.

## References

- <sup>1</sup> VAN DER RIET W.B., 1976. Studies on the microflora of biltong. *South African Food Review* 3, (1) 105-111.
- <sup>2</sup> POLIGNE I., COLLIGNAN A., TRYSTRAM G., 2001. Characterization of traditional processing of pork meat into boucané. *Meat Science* 59, (4) 377-389.
- <sup>3</sup> ALONGE D.O., 1987. Factors affecting the quality of smoked dried meats in Nigeria. *Acta Alimentaria* 16, (3) 263-270.

\*WL: weight loss, Wa: water loss, SaG: salt gain, PhG: phenol gain, B(a)PG: B(a)P gain

**COORDINATOR** CIRAD FRANCE  
**PARTNERS** France (Actia, Adv, CVO, Inra, Racines), Italy (Ispes), Portugal (ESB), EUROPE United Kingdom (INRI), Benin (IUC), Cameroon (Ensa), Egypt (FAAU, NRC), Ghana (IFRI), Madagascar (IUT), Senegal (Ibra, Ashw), South Africa (CSIR)

Acknowledgement: This publication is an output from a research project funded by the European Union (FP7 245 - 025) called African Food Revisited by Research - AFTER - [www.after-fp7.eu](http://www.after-fp7.eu)





### Quality Characterization of Kitoza, a Malagasy Meat Product

V. JEANNODA<sup>1</sup>, A.I. RATSIMBA<sup>1</sup>, H.L. ANDRIAMAMPANINA<sup>1</sup>,  
E. ARNAUD<sup>2</sup>, D.A.D. RAKOTO<sup>1</sup>, D. PALLET<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Antananarivo, Madagascar <sup>2</sup>Cirad, La Réunion <sup>3</sup>Cirad, Montpellier

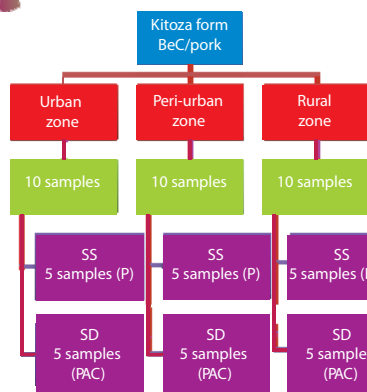


For the Malagasy zebu (or beef) is bred to produce meat for consumption. The beef is subjected to diverse preparation and/or preservation techniques. These range from the production of kitoza (strips of dried/smoked meat) to that of « varanga » (fried shredded meat) and of « jaka » (meat preserved in fat). In Sakalava countries (west of Madagascar) and/or Tsimihety (north), one finds « maskita », which corresponds more or less with kitoza in the process of sun drying or smoking by fire in the hearth [1, 2, 3].

Kitoza is a traditional Malagasy dish. It consists of meat strips 20 to 50 cm long and 2 to 4 cm wide, salted and then dried and/or smoked. Previously, it was considered to be a royal dish. As there was only one market day per week, one method of preserving the meat was to let it dry and produce kitoza. Currently, this dish still holds a place of choice in the household menu in Madagascar and its consumption has increased because of its ready availability on local market. With the evolution of food technology, some producers now make smoked kitoza, but it is also homemade from fresh raw meat. In all cases, the biochemical and microbiological quality of kitoza is not controlled.

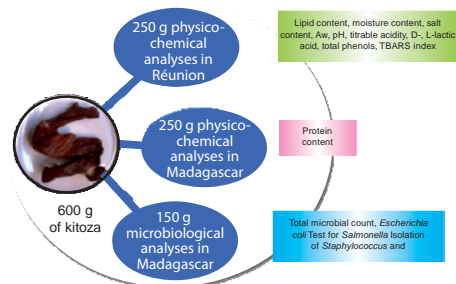
Within the framework of AFTER (African Food Tradition Revisited by Research), a project which aims at improving the quality and safety of African traditional food, 60 samples (30 beef, 30 pork) of kitoza were analyzed from physico-chemical and microbiological point of view. They were collected in Antananarivo and included 15 salted/smoked kitoza and 15 salted/dried kitoza for each type of meat.

Quality attributes and manufacturing process were also deduced from survey conducted amongst



Distribution and number of analyzed samples of Kitoza (SS: Salted/smoked; SD: Salted/dried; PAC: Producer for self-consumption; P: producer)

- The 60 samples were collected taking into account the variability due to animal species (beef or pork), collection areas (urban, peri-urban or rural), manufacturing processes (salted/smoked or salted/dried) and types of transformers (producer, producer for self-consumption).



Distribution of sample analyses



Opening the aeration

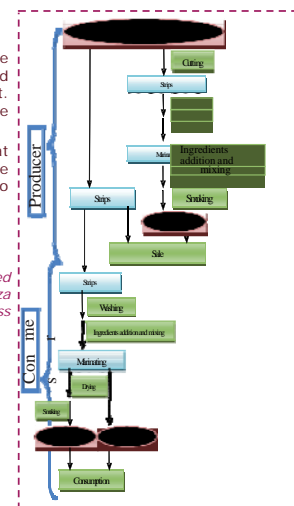
Metal sheet smoking oven kitoza

Results of microbiological analyses

Germ	Beef kitoza		Pork kitoza	
	Salted/smoked (Mean ± SD)	Salted/dried (Mean ± SD)	Salted/smoked (Mean ± SD)	Salted/dried (Mean ± SD)
FAMT (log ufc/g)	6.8 ± 0.9	8.2 ± 0.3	7.2 ± 1.0	9.8 ± 0.5
Escherichia coli (log ufc/g)	<0.7 (n=12)	<0.7 (n=12)	1.0 ± 0.7	3.9 ± 1.3
Salmonella	absent	absent	absent	absent

- Microbiological analyses showed that the organisms of alteration and hygiene indicators (FAMT) were significantly increased in salted/dried kitoza in comparison with salted/smoked beef and pork kitoza. The concentration of Escherichia coli was satisfactory for salted/smoked beef kitoza but a frequent contamination was noticed for salted/dried pork kitoza. No pathogenic organism (Salmonella) was detected for the two types of kitoza.

- REFERENCES
- Laurent C., 1981. Conservation des produits d'origine animale en pays chauds. ACCT, Paris, France, 157 p.
  - Mollet L., 1982. Le feu domestique et la cuisine chez les méridiens. Vol IX, 49 pp.
  - Raharilandy, 2004. Le bœuf dans la société traditionnelle malgache, 140 p.
  - Leistner L., Rödel W., 1976. The ability of intermediate moisture food with respect to microorganism. In: Intermediate Moisture Foods, Applied Science Publishers, London, United Kingdom, 120-137.
  - Bennani L., Zerati V., Faid M., Elayehi M., 1995. Physico-chemical and microbiological characteristics of a dried salted meat product (Kaddid) in Morocco. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung, 201(6), 528-532.
  - Lewis H. E., Masterford, P. Ward P. G., 1957. The food value of bilong (South African dried meat) and its use on expeditions. British Journal of Nutrition 11, (1) 5-12.
  - Alongo D.O., 1987. Factors affecting the quality of smoke-dried meats in Nigeria. Acta Alimentaria, 16 (3), 263-270.



Salted/smoked and salted/dried kitoza manufacturing process



Salted/dried kitoza



Salted/smoked kitoza

Quality attributes required of Kitoza

Actors	Colour	Consistency/Texture	Taste	Hygienic quality
Producers	Golden/brown	Tender/dry	Smoked	Presentation in bags and/or in window
Retailers	Golden/brown	Tender/dry	Smoked	Cleanliness of the shop
Consumers	Golden/brown/red	Tender/dry	Dry or smoked	Cleanliness

Results of physicochemical analyses

Parameters	Beef kitoza		Pork kitoza	
	Salted/smoked (Mean ± SD)	Salted/dried (Mean ± SD)	Salted/smoked (Mean ± SD)	Salted/dried (Mean ± SD)
Lipid content (g/100g)	8.1 ± 0.8	11.0 ± 1.1	17.0 ± 1.0	18.0 ± 1.3
Protein content (g/100g)	22.4 ± 2.4	27.3 ± 2.2	40.0 ± 1.3	41.5 ± 0.9
Moisture content (g/100g)	49.6 ± 0.2	38.0 ± 0.2	51.2 ± 1.9	51.1 ± 0.1
Sal content (g/100g)	2.99 ± 1.34	3.52 ± 1.25	2.8 ± 1.1	4.2 ± 1.76
Aw	0.929 ± 0.050	0.861 ± 0.026	0.960 ± 0.02	0.83 ± 0.07
pH	5.88 ± 0.20	5.70 ± 0.20	6.09 ± 0.14	6.40 ± 0.20
Total phenols (mg/100g)	11.4 ± 2.2	12.6 ± 3.2	9.7 ± 1.1	10.2 ± 0.9
Protein acid (mg/100g)	0.051 ± 0.109	0.132 ± 0.187	0.138 ± 0.17	0.144 ± 0.15
L-lactic acid (g/100g)	1.18 ± 0.17	1.40 ± 0.44	0.94 ± 0.33	0.13 ± 0.15
Total phenols (mg/100g)	2.30 ± 1.44	0.30 ± 0.40	3.25 ± 1.06	0.41 ± 0.36
TBARS index (mg/kg)	2.34 ± 0.26	4.84 ± 0.72	0.70 ± 0.8	6.50 ± 0.5

- From a physicochemical point of view, the mean of lipid and protein contents of kitoza for beef and pork indicated that they had interesting nutritional characteristics. Moisture was high for smoked kitoza and intermediate for dried beef and pork kitoza [4]. The Aw was average for beef and pork. Salt content was not very high except for dried pork kitoza. Kitoza had higher water content and Aw, lower salt content than other traditional salted/dried/smoked meat product [5, 6]. The high pH value indicated that it was not a fermented food but some samples have some contents in lactic acid D- near to the fermented meat products. For beef kitoza, it was probably due to spontaneous fermentation. Some differences appeared between salted/dried kitoza and salted/smoked kitoza: their TBARS index showed that the first was more oxidized. Salted/smoked kitoza could be classified in the category of enough smoked products but not salted/dried one [7].



Opening the aeration

Heat source

Drum smoking oven



Opening the aeration

Brick smoking oven

## **ANNEXE 2 : GUIDE KITOZA**



F T E R

## Guide technique

# KITOZA

## Viande de bœuf ou de porc salée, séchée et fumée



This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement no 245-025.



F T E R

## Contacts

# KITOZA

### Danielle RAKOTO

Coordinateur local ATER, Université de Tananarive  
Antananarivo, MADAGASCAR  
[dad.rakoto@yahoo.fr](mailto:dad.rakoto@yahoo.fr)

### Angela RATSIMBA

PhD Kitoza, Université de Tananarive  
Antananarivo, MADAGASCAR  
MADAGASCAR  
[razayda@yahoo.fr](mailto:razayda@yahoo.fr)

### Elodie ARNAUD

Centre de coopération internationale  
en recherche agronomique pour le développement  
MONTPELLIER, France  
[elodie.arnaud@cirad.fr](mailto:elodie.arnaud@cirad.fr)

### Dr Babacar Ndir

Chargé de démonstration et de diffusion  
Association Afrique AgroExport – AAFEX, Dakar, Sénégal  
[bndir@aafex.com](mailto:bndir@aafex.com) / [se@aafex.com](http://se@aafex.com)

Toutes les informations sur [www.ater-fp7.eu](http://www.ater-fp7.eu)

This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement no 245-025.





## ANNEXE 3 : DOCUMENTS D'ENQUÊTES

### **African Food Tradition Revisited by research**

Seventh Framework Program

Grant agreement n° 245025

### **Université d'Antananarivo**

Faculté des Sciences

Département de Biochimie  
fondamentale et appliquée

BP 906 Antananarivo 101

Madagascar

Objet : Approbation de la Lettre d'information et du Formulaire de consentement

Je, **JEANNODA Victor**, Legal Entity Appointed Representative....., approuve les documents joints: Lettre d'information à l'adresse du participant et Formulaire de consentement concernant le produit Kitoza, objet d'étude du projet Européen AFTER. Ces documents ont été établis en collaboration avec l'expert en éthique du projet, qui est familiarisé avec les communautés traditionnelles africaines. Ils seront présentés aux participants pendant les enquêtes qui vont être menées à Madagascar. En outre, ces documents seront traduits dans les langues / dialectes des régions enquêtées.

Signature

Date

Cachet de l'Organisation



**Université d'Antananarivo**  
Faculté des Sciences  
Département de Biochimie  
fondamentale et appliquée  
BP 906 Antananarivo 101  
Madagascar

## **Lettre d'information**

Nous, l'équipe de l'Université d'Antananarivo, entreprenons une étude de la méthode de production/conservation/distribution et vente/préparation du Kitoza. Cette étude, entreprise à travers une collaboration internationale en matière de développement et de recherche sur les technologies alimentaires, est financée par l'Union Européenne sous l'intitulé : « African Food Tradition Revisited by Research ». Il implique des partenaires de sept pays africains incluant le nôtre. Les informations que vous fournirez contribueront à une meilleure compréhension des procédés et méthodes de préparation du Kitoza et serviront à améliorer la qualité et la sécurité des produits alimentaires traditionnels africains destinés aux consommateurs en Afrique, en Europe et ailleurs.

Vous êtes invités à participer à cette étude puisque votre contribution est très précieuse et pourrait aider à promouvoir les aliments traditionnels africains auprès de nouveaux consommateurs et nouveaux marchés. Les équipes de terrain rassembleront les informations relatives à la méthode de production, les matières premières, les ustensiles et les instruments utilisés, aussi bien que l'observation du procédé de production lui-même. Les informations que vous fournirez et qui seront collectées sous forme de notes écrites, seront utilisées uniquement à des fins scientifiques et seront traitées confidentiellement. L'anonymat est garanti et les individus ne seront pas identifiés dans toute publication ou diffusion des résultats de l'étude. Les droits des méthodes et connaissances indigènes sont protégés et vous jouissez des droits à toutes demandes légales ou justice à cause de votre participation.

Votre participation est volontaire et il n'y a aucune amende ni perte des avantages si vous ne souhaitez pas participer. Vous pouvez refuser de répondre à toute question particulière et passer à la prochaine et vous avez le droit de poser à l'investigateur ou au superviseur de l'étude identifié dans le Formulaire de Consentement, toutes les questions au sujet de l'étude, maintenant ou à tout moment pendant votre participation.

Alors que nous espérons que vous participerez, vous n'êtes sous aucune obligation de le faire. Si vous choisissez de participer, vous êtes libre de vous retirer à tout moment et sans être tenu de fournir une explication.

Si vous souhaitez participer à cette étude, il vous sera demandé de remplir et signer le Formulaire de consentement attestant votre participation.

Danielle RAKOTO



## PROJET AFTER

### - FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DU PARTICIPANT -

<b>Titre de la recherche : Tests consommateurs du Kitoza fumé</b>	
<b>Nom de l'enquêteur :</b>	
<b>Lieu :</b>	
<b>A compléter par le participant</b>	
1. Avez-vous lu la Lettre d'information concernant cette étude (ou: Est-ce que la Lettre d'information vous a été lue)?	OUI / NON
2. Comprenez-vous de quoi il s'agit dans l'étude et la contribution attendue de votre participation?	OUI / NON
3. Si vous avez posé des questions avez-vous obtenu des réponses satisfaisantes?	OUI / NON
4. Comprenez-vous que vous êtes libre de vous retirer de cette étude à tout moment et sans avoir besoin d'en donner la raison?	OUI / NON
5. Acceptez-vous de participer à cette étude?	OUI / NON
<b>Nom du participant en majuscule:</b>	
<b>Signature</b>	<b>Date</b>
<b>Signature de l'enquêteur</b>	<b>Date</b>

**Ce projet est supervisé par:** Danielle RAKOTO  
Université d'Antananarivo

**Contacts:** dad.rakoto@yahoo.fr  
Tel: 00 261 32 41 067 77 / 00 261 33 14 584 83





**African Food Tradition Revisited by research**  
Seventh Framework Program  
Grant agreement n° 245025

**Université d'Antananarivo**  
Faculté des Sciences  
Département de Biochimie  
fondamentale et appliquée  
BP 906 Antananarivo 101  
Madagascar

Antony: Fanamarinana ny Taratasy fampahalalana sy ny Taratasy faneken'ny mpandray anjara

Izaho, (anarana sy asa atao) JEANNODA Victor, Legal Entity Appointed Representative,  
.....,  
dia manamarina ireto antotan-taratasy manaraka ireto: Taratasy fampahalalana sy Taratasy faneken'ny mpandray anjara mikasika ny Kitoza izay vokatra iasan'ny tetik'asa eoropeana AFTER. Ireo antotan-taratasy ireo dia vokatry ny fiaraha-miasa tamin'ny manam-pahaizana manokana momba ny etikan'ny tetik'asa, izay efa mahafantatra tsara ireo fikambanana netin-drazana afrikanina. Hatolotra an'ireo mpandray anjara ireo taratasy ireo mandritry ny fikarohana izay hatao aty Madagasikara. Ankoatr'izay, hadika amin'ny teny malagasy / tenim-paritry ny toerana izay anaovana ny fanadihadiana ireo antotan-taratasy ireo.

Sonia

Daty

Fitomboka



**Université d'Antananarivo**  
Faculté des Sciences  
Département de Biochimie  
fondamentale et appliquée  
BP 906 Antananarivo 101  
Madagascar

## **Taratasy fampahalalana**

Izahay, andiana mpampianatra-mpikaroka eto amin'ny Oniversiten'Antananarivo, dia manao fikarohana mikasika ny fomba famokarana/fitahirizana/fitsinjarana sy ny fivarotana/fikarakarana ny Kitoza. Ity fikarohana ity, izay atao noho ny fiaraha-miasa iraisam-pirenena momba ny fampivoarana sy ny teknika fanodinana ara-tsakafo, dia vatsian'ny Fiombonambe Eoropeana ary mitondra ny anarana hoe: « African Food Tradition Revisited by Research ». Izany dia iraisan'ireo mpiara-miasa rehetra avy amin'ny firenena afrikanina miisa fito, ka isan'izany ny firenentsika. Ireo fahalalana izay omenao dia hanampy betsaka amin'ny fahazoana fahalalana tsaratsara kokoa mikasika ireo fomba fanamboarana sy fikarakarana ny kitoza ary hampiasaina mba hanatsarana ny kalitao sy fahazoana antoka ara-pahasalamana ireo vokatry ara-tsakafo nentin-drazana afrikanina iazay atolotra ireo mpanjifa eto Afrika, any Eoropa sy any amin'ny firenen-kafa.

Asaina ianao mba handray anjara amin'ity fikarohana ity satria tena saro-bidy tokoa ny fanampinao sady hanamora ny fampidirana ireo sakafo nentin-drazana eto Afrika amina mpanjifa vaovao sy amina tsena vaovao. Ireo mpanao fanadihadiana dia hanangona ireo fahalalana mikasika ny fomba famokarana, ireo akora ampiasaina, ireo fitaovana sy ireo kojakoja ilaina, ary handinika ihany koa ny fomba famokarana. Ireo fahalalana izay omenao dia horaketina an-tsoratra ka tsy hampiasaina hafa tsy amina tanjona siantifika ary hijanona ho tsiambaratelo. Hiantohana ny tsy fitononana anarana sady tsy ho hita any anatin'ireo fanambarana sy fanaparahana ny vokatry ny fikarohana ny anaran'ny mpandray anjara. Voaaro avokoa ny zo sy ny fahalalana ifotony ary ireo fomba famokarana, ary azonao atao ny mitaky ny zonao sy ny ara-drariny noho ny fandraisanao anjara.

An-tsitraro ny fandraisanao anjara sady tsy misy sazy na fahaverezan'ireo tombontsoanao raha tsy te handray anjara ianao. Azonao atao ny tsy mamaly ireo fanontaniana manokana ka miampita avy hatrany amin'ny fanontaniana manaraka, sady manan-jo ny hametra-panontaniana amin'ilay mpanadihady na ny tompon'andraikitra ny fanadihadiana dieny izao ianao na mandritry ny fandraisanao anjara.

Tsy misy mihitsy arak'izany ny faneriterena anao handray anjara fa anao ny safidy ka manantena fiaraha-miasa avy aminao. Noho izany, raha misafidy ny handray anjara ianao dia toy izany koa, afaka mijanona na miala amin'ny fotoana rehetra ianao ary tsy voatery hilaza ny antony.

Raha sitrakao ny handray anjara amin'ilay fikarohana, dia hiangaviana ianao mba hameno ny taratasy fifanekena izay manamarina ny fandraisanao anjara.

Danielle RAKOTO

TETIK'ASA AFTER

- TARATASY FANEKEN'NY MPANDRAY ANJARA -

<b>Lohatenin'ny fikarohana: Famaritana ny fomba sy ny dingana fanamboarana Kitoza</b>	
<b>Anaran'ny mpanadihady:</b>	
<b>Toerana:</b>	
<b>Fenoin'ny mpandray anjara</b>	
1. Voavakinao ve ny Taratasy fampahalalana mikasika ity fikarohana ity (na: Efa novakiana taminao ve ny Taratasy fampahalalana)?	ENY / TSIA
2. Azonao ve ny zavatra voakasik'io fikarohana io sy ny zavatra hoentin'ny fandraisanao anjara?	ENY / TSIA
3. Nahazo valin-teny nahafafa-po ve ianao rehefa nametraka fanontaniana?	ENY / TSIA
4. Mazava aminao ve fa afaka miala an-mpahalalahana amin'ity fikarohana ity ianao amin'ny fotoana rehetra ary tsy mila milaza izay antony?	ENY / TSIA
5. Manaiky ny handray anjara amin'ity fikarohana ity ve ianao?	ENY / TSIA
<b>Anaran'ny mpandray anjara (sora-baventy):</b>	
<b>Sonia</b>	Daty
<b>Sonian'ny mpanadihady</b>	Daty

<b>Ity tetik'asa ity dia eo ambany fanarahamason'i: Danielle RAKOTO</b> Université d'Antananarivo
<b>Fifandraisana:</b> dad.rakoto@yahoo.fr Tel: 00 261 32 41 067 77 / 00 261 33 14 584 83

## INTERVIEW D'OPÉRATEUR D'ÉTAPE

**A administrer à chaque opérateur chargé d'une étape, si la question a un sens :**

### a) Fonctionnement

Q1 : La quantité de produits traités à chaque production peut-elle varier ? De quoi cela dépend-il ?

Q2 : Le combustible ou l'eau (ou autre intrants) peuvent-ils manquer ? Quelles solutions existent pour y pallier ?

Q3 : Quelles sources d'énergie sont utilisables ?

Q4 : Quels sont les gestes opératoires les plus pénibles, les plus dangereux ?

Q5 : L'étape produit-elle des nuisances particulières (bruit, fumée, chaleur) ?

Q6 : L'étape pourrait-elle être raccourcie ? Pourquoi, comment ?

Q7 : L'outil ou la machine fonctionne-t-il correctement ? Connaissez-vous un outil plus adapté ? Préciser.

### b) Fabrication / Montage / Démontage/Transport

Q1 : D'où provient l'outil / la machine ?

Q2 : Achetée ? où ?

Q3 : Fabriquée sur place ?

Q4 : Facile à fabriquer ? (trouve-t-on les pièces ?)

Q5 : La machine doit-elle être démontable ?

Q6 : L'outil ou la machine doit-elle être transportable ? Pourquoi ?

Q7 : Au bout de combien de temps est-il/elle inutilisable ?

Q8 : Que fait-on de l'outil une fois qu'il est devenu inutilisable ?

### c) Qualité Produit

Q1 : Quelle est l'étape précédente ?

Q2 : Le produit est-il traité immédiatement ?

Q3 : Si non, dans quelles conditions attend-il le cas échéant ? (durée, contenant, température)

Q4 : Le produit qui arrive est-il toujours de bonne « qualité » ?

Q5 : Quels peuvent être les défauts ?

Q6 : Arrive-t-il que le produit soit inutilisable ?

Q7 : Comment savez-vous que l'étape est achevée ?

Q8 : L'étape peut-elle « rater » ? préciser.

Q9 : Que faites-vous des produits écartés ?

Q10 : Quelle est l'étape suivante ?

Q11 : Une fois le produit prêt, est-il immédiatement utilisé à l'étape suivante ?

Q12 : Si non, dans quelles conditions attend-il le cas échéant ? (durée, contenant, température)

## INTERVIEW DU RESPONSABLE DE SITE

### Questions au responsable de l'unité (si la question a un sens) :

#### a) Matières premières et intrants

- Q1 : D'où vient la matière première ?
- Q2 : Combien de temps avant transformation est-elle achetée ?
- Q3 : Comment est-elle stockée ?
- Q4 : Comment mesure-t-on sa qualité ?
- Q5 : Est-elle parfois impropre à la transformation ?
- Q6 : La qualité de la matière est-elle importante pour faire un bon produit (fini) ?
- Q7 : Arrive-t-il qu'elle manque ?
- Q8 : Son prix d'achat peut-il bloquer l'activité ?
- Q9 : Peut-on travailler avec d'autres produits ?
- Q10 : Arrive-t-il que les intrants manquent ?
- Q11 : Le prix d'achat des intrants peut-il bloquer l'activité ?
- Q12 : Peut-on travailler avec d'autres intrants ?

#### b) Qualité et commercialisation du produit

- Q13 : Avez-vous des concurrents ?
- Q14 : Si oui comment est votre produit fini en comparaison :
- Q15 : Meilleur ou moins bon ? (préciser)
- Q16 : Plus cher ou moins cher ?
- Q17 : Comment sa qualité est-elle garantie ? Faites-vous faire des analyses ?
- Q18 : Existe-t-il des normes de qualité à satisfaire ? Lesquelles ?
- Q19 : Les produits finis sont-ils stockés ?
- Q20 : Quelles conditions, quelle quantité de stocks ?
- Q21 : Jusqu'où les produits sont-ils vendus ?
- Q22 : Pourquoi n'exportez-vous pas ? Pays voisins ? Europe ?

#### c) Atelier, moyens humains et outils

- Q23 : L'atelier a-t-il un agrément ? Lequel ? Est-ce important/obligatoire ?
- Q24 : Des inspections ont-elles parfois lieu dans l'atelier ? Par qui ? Périodicité ?
- Q25 : Existe-t-il des normes de travail, de locaux ?
- Q26 : Le personnel est-il compétent ? Formé ?
- Q27 : Certaines étapes nécessitent-elles un savoir faire et des initiatives de la part de l'opérateur ?
- Q28 : Combien de temps reste un employé dans l'entreprise ?
- Q29 : Pourquoi n'agrandissez-vous pas l'entreprise ?
- Q30 : Aimeriez-vous changer le matériel ? Lequel, pourquoi ?
- Q31 : Pouvez-vous nous indiquer le prix approximatif des principaux équipements de transformation ?
- Q32 : Pourquoi ne le faites-vous pas ?
- Q33 : Avez-vous de problèmes avec le voisinage (odeurs, bruit, fumées, autres) ?
- Q34 : Si oui, quelles solutions sont prévues

**ANNEXE 4 : COMPOSITION DES MILIEUX DE CULTURE****Eau peptonée tamponnée (EPT) en g/l**

Peptone .....	10,00
Phosphate dissodique anhydre.....	3,56
Phosphate monopotassique.....	1,50
Chlorure de sodium.....	5,00
pH =7,0	

**Eau physiologique 9‰**

NaCl (M= 58,44g/mol).....	9g
Eau distillée.....	1000 ml

**Plate Count Agar (PCA) en g/l**

Tryptone .....	5
Extrait de levure.....	2,5
Glucose.....	1
Agar .....	15
pH=7,0±0,2(environ)	

**Trypton Bile agar (TBX) en g/l**

Tryptone.....	20
Acides biliaires n°3.....	1,5
Agar .....	14
X-GLUC.....	0,75
pH : 7,2±0,2	

**Gélose de Man, Rogosa, Sharpe (MRS) en g/l**

Peptone.....	10
Extrait de viande de bœuf.....	10
Extrait de levure.....	5
Glucose.....	20
Phosphate monopotassique (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ).....	2
Acétate de sodium.....	5
Citrate d'ammonium.....	2
Sulfate de magnésium (MgSO <sub>4</sub> ).....	0,2
Sulfate de manganèse (MnSO <sub>4</sub> ) .....	0,05
Agar.....	15
Tween ® 80.....	1
pH : 6,2	

**MSA (Mannitol Salt Agar) en g/l**

Peptone.....	10,0 g
Extrait de viande de bœuf.....	1,0 g
Chlorure de sodium.....	75,0 g
Mannitol.....	10,0 g
Rouge de phénol.....	0,025 g
Agar-Agar.....	15,0 g
pH : 7,4	

**BHI (Brain Heart Infusion) ou bouillon cœur cerveau en g/l**

Protéose-peptone.....	10,0 g
Infusion de cerveau de veau.....	12,5 g
Infusion de cœur de bœuf.....	5,0 g
Glucose.....	2,0 g
Chlorure de sodium.....	5,0 g
Hydrogénophosphate de sodium.....	2,5 g
pH : 7,4	

**RVS (Rapport Vassiliadis) en g/l**

Peptone de farine de soja.....	4,5
Chlorure de sodium (NaCl) .....	7,2
Phosphate monopotassique (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ).....	1,26
Phosphate dipotassique (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ).....	0,18
Chlorure de magnésium anhydre (MgCl <sub>2</sub> ).....	13,4
Oxalate de malachite vert.....	0,036
pH: 5,2±0,2	

**XLD (Xylose-Lysine-Désoxycholate) en g/l**

Xylose.....	3,5
L-lysine.....	5
Lactose.....	7,5
Sucrose.....	7,5
Chlorure de sodium (NaCl).....	5
Extrait de levure.....	3
Désoxycholate de sodium .....	2,5
Thiosulfate de sodium (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	6,8
Citrate d'ammonium ferrique.....	0,8
Rouge de phénol.....	0,08
Agar.....	13,5
pH (25°):7,4±0,2	

**HEKTOEN en g/l**

Proteose peptone.....	12,00
Extrait de levure.....	3,0
Lactose.....	12,00
Sucrose .....	12,00
Salicine.....	2,00
Sels biliaires.....	9,00
Chlorure de sodium .....	5,00
Thiosulfate de sodium .....	5,00
Citrate d'ammonium ferrique.....	1,50



Bleu de bromothymol .....	0,065
Fuschine acide.....	0,10
Agar.....	15,00
pH (25°C): 7,5±0,2	

**Kligler Hajna en g/l**

Peptone.....	15,0
Extrait de levure.....	3,0
Extrait de viande de boeuf.....	3,0
Proteose peptone.....	5,0
Chlorure de sodium.....	5,0
Lactose .....	10,0
Dextrose.....	1,0
Thiosulphate de sodium .....	0,3
Sulphate de fer.....	0,2
Rouge de phénol .....	0,024
Agar.....	15,0
pH (25°C): 7,4±0,2	

**Urée indole en g/l**

Urée.....	20,0
Phosphate monopotassique.....	1,0
Phosphate dipotassique.....	1,0
Rouge de phénol.....	0,025
Chlorure de sodium.....	5,0
L-Tryptophane.....	3,0
pH : 6,8±0,2	

## ANNEXE 5 : QUESTIONNAIRE CONSOMMATEURS

### Questionnaire – Kitoza fumé

Date (JJ/MM): \_\_\_\_ / \_\_\_\_ /2012 Heure: \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Lieu de l'interview	
Enquêteur	
Consommateur	Prénom (s): _____ Nom: _____

(Note aux enquêteurs : les consommateurs auront à tester 5 échantillons qui seront présentés dans un ordre donné.  
Merci de respecter cet ordre.)

Ordre des échantillons:

1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_ 3. \_\_\_\_\_

#### APPARENCE

Code de l'échantillon				
9. Extrêmement agréable				
8. Très agréable				
7. Agréable				
6. Un peu agréable				
5. Ni agréable, ni désagréable				
4. Un peu désagréable				
3. Désagréable				
2. Très désagréable				
1. Extrêmement désagréable				

Concernant l'**apparence**,

- quel échantillon avez-vous préféré ? .....

Pourquoi ?.....

- quel échantillon avez-vous le moins aimé? .....

Pourquoi ?.....

Autres commentaires : .....

**GOUT**

Code de l'échantillon				
9. Extrêmement agréable				
8. Très agréable				
7. Agréable				
6. Un peu agréable				
5. Ni agréable, ni désagréable				
4. Un peu désagréable				
3. Désagréable				
2. Très désagréable				
1. Extrêmement désagréable				

Concernant le **goût**,

- quel échantillon avez-vous préféré ? .....

Pourquoi ?.....

- quel échantillon avez-vous le moins aimé? .....

Pourquoi ?.....

Autres commentaires : .....

**ACCEPTABILITE GLOBALE DU PRODUIT**

Code de l'échantillon				
9. Extrêmement agréable				
8. Très agréable				
7. Agréable				
6. Un peu agréable				
5. Ni agréable, ni désagréable				
4. Un peu désagréable				
3. Désagréable				
2. Très désagréable				
1. Extrêmement désagréable				

Concernant l'**acceptabilité globale**,

- quel échantillon avez-vous préféré ? .....

Pourquoi ?.....

- quel échantillon avez-vous le moins aimé? .....

Pourquoi ?.....

Autres commentaires : .....

## INFORMATION SUR LE CONSOMMATEUR

(Note aux enquêteurs : Si le consommateur répond « je ne sais pas », ne laissez pas de case blanche, écrivez "999". S'il n'est pas possible de répondre, écrivez « 991 ». Dans tous les cas, ne laissez pas de case blanche)

1	Nom	
2	Age	[1] 18 – 35 ans [4] 56 – 66 ans [2] 36 – 45 ans [5] Plus de 66 ans [3] 46 – 55 ans
3	Sexe	[1] Homme [2] Femme
4	Nationalité	
5	Situation dans le pays	[1] Résident [2] Touriste
6	Situation familiale	[1] Marié(e) [2] Célibataire [3] Autre (spécifiez) .....
7	Nombre d'enfants	
8	Niveau d'études	[1] Non scolarisé [3] Secondaire [2] Primaire [4] Supérieur
9	Activité professionnelle	[1] Salarié / employé [4] Etudiant [2] A son compte [5] A la retraite [3] Fonctionnaire [6] Sans emploi
10	Possédez-vous ?	[1] Un vélo oui [ ] non [ ] [1] Un scooter oui [ ] non [ ] [1] Une voiture oui [ ] non [ ] [1] Une TV oui [ ] non [ ] [1] Une maison (propriétaire) oui [ ] non [ ] [1] Un frigo oui [ ] non [ ]
11	A quelle fréquence consommez-vous le Kitoza fumé?	[1] Jamais [2] Rarement [3] Une fois par mois [4] Une fois par semaine [5] Plusieurs fois par semaine [6] Tous les jours
12	A quel moment de la journée le consommez-vous ?	[1] Au petit-déjeuner [2] Au déjeuner [3] Au goûter [4] Au dîner [5] A l'apéritif
13	Comment consommez-vous le plus souvent le kitoza fumé? (Si plusieurs réponses, les ordonner par ordre d'importance)	[1] Avec du riz vary soosa [4] Avec du pain [2] Avec du riz vary amin'ny anana [5] Avec de la soupe chinoise [3] Avec du riz sec vary maina [6] Seul
14	Pourquoi consommez-vous le Kitoza fumé? (Si plusieurs réponses, les ordonner par ordre d'importance)	[1] Bon goût [2] Nutritif [3] Facile à préparer [4] Economique [5] Par habitude alimentaire
15	Quel type de kitoza fumé consommez-vous le plus ?	[1] Kitoza de porc [2] Kitoza de boeuf
16	Pourquoi préférez-vous ce type de kitoza fumé?	[1] Meilleur goût [2] Moins cher [3] Autre (spécifiez).....
17	A partir de quelle partie de viande préférez-vous que le kitoza fumé soit préparé ?	[1] Filet [2] Entrecôte [3] Tranche fine [4] Escalope [5] Bosse
18	Quel type de préparation de kitoza fumé préférez-vous ?	[1] Kitoza salé [2] Kitoza salé avec ajout d'ingrédients
19	Préférez-vous la viande de kitoza fumé (Plusieurs réponses possibles)	[1] Tendre [2] Dure [3] Lisse [4] Fibreuse [5] De couleur claire [6] De couleur foncée [7] Grillée [8] Peu grillée

## ANNEXE 6 : LISTE DES ATTRIBUTS AVEC LES DEFINITIONS

Attribut sensoriel	Définition	Protocole de dégustation
<b>Odeur fumée (faible à forte)</b>	Odeur de feu de bois, de grillade	Soulever le verre en plastique qui recouvre les morceaux de viande, rapprochez-vous pour sentir l'odeur qui se dégage et noter l'intensité de l'odeur qui peut être faible jusqu'à forte.
<b>Odeur épicée (aucune à forte)</b>	Odeur d'épices ajoutés comme ingrédients à la viande (ail, poivre, gingembre ...)	
<b>Couleur (claire à foncée)</b>	La couleur de la chair de la viande devant vous peut aller d'une couleur claire (blanchâtre, rose clair) à une couleur foncée (marron foncé, pourpre, grenat).	Observer les morceaux de viande devant vous et noter si sa couleur est plutôt claire ou foncée ou présente une intensité intermédiaire.
<b>Aspect humide (sec à juteux)</b>	Visuellement, les morceaux de viande présentent en surface un aspect humide, juteux ou complètement sec.	Observer les morceaux de viande et noter si la chair vous paraît plus ou moins juteuse ou plutôt sèche.
<b>Présence de gras (aucun à beaucoup)</b>	Les morceaux de viande contiennent des parties grasses.	Observer les morceaux de viande et noter si la tranche est complètement maigre ou présente des parties grasses.
<b>Aspect fibreux (lisse à fibreux)</b>	Visuellement, la chair des morceaux de viande présente en surface un aspect lisse, homogène ou à l'opposé fibreux ou filandreux.	Observer les morceaux de viande et noter si la chair présente des filaments ou au contraire est plutôt uniforme, lisse.
<b>Aspect grillé (pas à beaucoup)</b>	Visuellement, les morceaux de viande présentent une surface extérieure grillée ou non.	Observer les morceaux de viande et noter si la « croute » est complètement grillée ou pas.

<b>Dureté en bouche (tendre à dure)</b>	A la mastication, la texture du morceau de kitoza apparaît moelleuse, souple, tendre ou au contraire dure, ferme, ou intermédiaire.	Lorsque vous mâchez le morceau de kitoza, noter la résistance du produit à la mastication ou au contraire la facilité à le mâcher.
<b>Elasticité en bouche (aucune à forte)</b>	A la mastication, la texture du morceau de kitoza apparaît plus ou moins caoutchouteuse, élastique ou pas du tout.	Au cours de la mastication, noter la sensation plus ou moins élastique du produit.
<b>Texture fibreuse en bouche (aucune à forte)</b>	En cours de mastication, le produit apparaît filandreux en bouche ou au contraire très homogène, lisse.	Percevoir en cours de mastication du produit la présence ou non de filaments de fibres en bouche avant d'avaler.
<b>Goût épicé (aucun à fort)</b>	Au cours de la mastication du produit, ressentez au moins un des épices ou ingrédients ajoutés au produit (ail, gingembre, poivre, umami ...)	Pendant la mastication ressentir la présence ou non d'épices en bouche.  Se rincer la bouche avant d'évaluer le prochain descripteur de goût.
<b>Goût salé (faible à fort)</b>	Les morceaux de kitoza présentent un goût plus ou moins salé qui peut aller de faible à fort.	Pendant la mastication ressentir si le produit est salé ou pas.  Se rincer la bouche avant d'évaluer le prochain descripteur de goût.
<b>Goût sucré (aucun à fort)</b>	Les morceaux de kitoza présentent ou non un goût sucré qui peut être plus ou moins prononcé.	Pendant la mastication ressentir si le produit est sucré ou pas.  Se rincer la bouche avant d'évaluer le prochain descripteur de goût.
<b>Arôme fumé (faible à fort)</b>	Les morceaux de kitoza présentent après déglutition un arôme fumé plus ou moins prononcé.	Après avoir avalé le produit, noter si vous ressentez ou non un arôme fumé qui remonte vers le nez. Noter l'intensité qui peut aller de faible (ou aucune) à forte ou intermédiaire.

**Title :** Evaluation and re-engineering of the traditional processing of kitoza

**Author :** RATSIMBA Angela Irène épouse RABARIARIVELO

## **ABSTRACT**

Kitoza is a traditional meat product that plays an important role in malagasy eating habits and culture.

Surveys were conducted with kitoza producers. Samples were collected at each step of process and then analyzed. The process reengineering was developed for each critical step.

The study we carried out on the manufacture of kitoza with different producers in the province of Antananarivo in Madagascar enabled us to characterize the manufacturing process, to know the quality of the kitoza and to identify a certain number of critical points. The steps of the process are cutting into strips, salting and smoking. The smoking technique is different for each producer.

Kitoza belongs to the category of high moisture foods. It has a high protein content and is not fermented. Kitoza samples having undergone the combination of cooking, drying and smoking unit operations showed high B(a)P contents. Microbiological analyzes revealed that during the process, the concentration of the total count and *Escherichia coli* was high but in the final product the concentration of the total count was acceptable and there was no pathogenic bacteria were detected. The identification of strains of coagulase negative staphylococci from dried and smoked finished products showed that *Staphylococcus saprophyticus* was the dominant species.

Although no illness or nuisance was attributed to the consumption of kitoza, a re-engineering of the traditional process was undertaken with a view to the improvement and the development of the marketing of the product. The re-engineering of the process was mainly focused on smoking to obtain the same characteristics as the traditional product while having a B(a)P content in accordance with the standards. Various wood processing tests as well as coal and sawdust were tested. Unit operations of drying/cooking and smoking were decoupled during coal and sawdust treatments. It has been demonstrated that wood-free processes ensure a low B(a)P content. The technique was developed locally using charcoal for the drying/cooking step and wood chips for smoking. The physicochemical and sensory characteristics were retained but the BaP content was low guaranteeing the safety of the food. Microbiological analyzes of the reengineered products showed that the concentration of total count and lactic acid bacteria was acceptable. This level was stable at + 4 ° C up to 8 days but it increased over time for kitoza kept at room temperature. No pathogenic bacteria were detected whatever the mode and the shelf life. Sensory tests showed that the improved product was appreciated by consumers. A technical guide has been developed to popularize the technology.

**Keywords:** kitoza, smoking, benzo(a)pyrène, PAH, reengineering, quality, organoleptic analyses

**Advisors:** Professeur Victor Jeannoda

Docteur Elodie Arnaud

**Titre :** Evaluation et réingénierie des procédés de fabrication traditionnelle du kitoza

**Auteur :** RATSIMBA Angela Irène épouse RABARIARIVELO

## **RESUME**

Le kitoza est un produit carné traditionnel qui occupe une place importante dans les habitudes alimentaires et la culture malgaches.

Des enquêtes ont été menées auprès de producteurs de kitoza. Des échantillons ont été récoltés aux différentes étapes puis ont été analysés. La réingénierie du procédé a été mise au point pour chaque étape critique.

L'étude que nous avons menée sur la fabrication de kitoza auprès de différents producteurs dans la province d'Antananarivo à Madagascar nous a permis de caractériser le processus de fabrication, de connaître la qualité du kitoza et de relever un certain nombre de points critiques. Les étapes du procédé sont la découpe en lanières, le salage et le fumage. La technique de fumage est différente pour chaque producteur.

Le kitoza appartient à la catégorie des aliments à haute humidité. Il présente une teneur élevée en protéines et n'est pas fermenté. Les échantillons de kitoza ayant subi la combinaison des opérations unitaires de cuisson, de séchage et de fumage ont présenté des teneurs élevées en B(a)P. Les analyses microbiologiques ont révélé qu'au cours du procédé, la concentration de la flore totale et *Escherichia coli* était élevée mais que dans le produit fini, la concentration de la flore totale était acceptable et aucun germe pathogène n'a été détecté. L'identification des souches de staphylocoques à coagulase négative à partir des produits finis séchés et fumés a montré que *Staphylococcus saprophyticus* était l'espèce dominante.

Bien qu'aucune maladie ou nuisance n'aient été imputées à la consommation de kitoza, une réingénierie du procédé traditionnel a été entreprise en vue de l'amélioration et le développement de la commercialisation du produit. La réingénierie du procédé a été axée principalement sur le fumage pour obtenir les mêmes caractéristiques que le produit traditionnel tout en ayant une teneur en B(a)P conforme aux normes. Différents essais de traitement au bois ainsi qu'au charbon et à la sciure ont été testés. Les opérations unitaires de séchage/cuisson et de fumage ont été découplées lors des traitements au charbon et à la sciure. Il a été démontré que les procédés sans bois garantissaient une faible teneur en B(a)P. La technique a été mise au point localement en utilisant du charbon pour l'étape de séchage/cuisson et des copeaux de bois pour le fumage. Les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles étaient conservées mais la teneur en BaP était faible garantissant la sécurité de l'aliment. Les analyses microbiologiques des produits réingénierés ont montré que la concentration de la flore totale et des bactéries lactiques était acceptable. Ce taux était stable à +4°C jusqu'à 8 jours mais il augmentait au cours du temps pour les kitoza conservés à la température ambiante. Aucun germe pathogène n'a été détecté quels que soient le mode et la durée de conservation. Les tests sensoriels ont montré que le produit amélioré était apprécié par les consommateurs. Un guide technique a été élaboré pour vulgariser la technologie.

**Mots clés :** kitoza, fumage, benzo(a)pyrène, HAP, réingénierie, qualité, analyses organoleptiques

**Directeur de thèse :** Professeur Victor Jeannoda

**Co-directeur :** Docteur Elodie Arnaud